

# Über den Geruchssinn des Menschen und seine Leistungen

Ein kritischer Überblick über die angewandten  
Prüf- und Meßmethoden

von

Hans G. Endress  
aus Ludwigsburg

1965

Diss. Erlangen  
1965

Aus der Klinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenkranke  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
Direktor: Professor Dr.med. G.Theissing

---

ÜBER DEN GERUCHSSINN DES MENSCHEN UND SEINE LEISTUNGEN

Ein kritischer Überblick über die angewandten  
Prüf- und Messmethoden

Inaugural-Dissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der  
Hohen Medizinischen Fakultät  
der  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt  
von  
Hans G. Endress  
aus  
Ludwigsburg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät  
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Professor Dr. W.-D. Keidel  
Referent: Professor Dr. G. Theissing

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Mai 1965

## I N H A L T S Ü B E R S I C H T

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. Einleitung und Zielsetzung der Arbeit                                                                                                                                          |    |
| I.1: Stand der Erkenntnisse vom Geruchssinn<br>im Vergleich zu dem anderer Sinne                                                                                                  | 1  |
| Gründe für die auffällige Diskrepanz:                                                                                                                                             |    |
| a) Mindereinschätzung des Geruchssinnes                                                                                                                                           |    |
| b) Schwierigkeiten durch anatomische und<br>physiologische Besonderheiten                                                                                                         |    |
| c) der adäquate Reiz ist nicht bekannt                                                                                                                                            |    |
| d) psychologische Schwierigkeiten                                                                                                                                                 |    |
| I.2: Zunehmende praktische Bedeutung von Ge-<br>ruchsproblemen                                                                                                                    | 7  |
| I.3: Zielsetzung der vorliegenden Arbeit                                                                                                                                          | 9  |
| II. Kurze Darstellung der derzeitigen Kenntnisse<br>vom Geruchssinn, sofern sie für eine Kritik<br>der Methoden zur Prüfung und Messung von Ge-<br>ruchsleistungen bedeutsam sind |    |
| II.1: Riechvorgang - Adäquater Reiz des Ge-<br>ruchssinnes - Riechtheorien                                                                                                        | 11 |
| II.2: Geruchsintensität und ihre Abhängig-<br>keit von physikalischen Bedingungen                                                                                                 | 15 |
| II.3: Abhängigkeit des wirksam werdenden Ge-<br>ruchsreizes von strukturellen und funk-<br>tionellen Gegebenheiten der Nase                                                       | 17 |
| II.4: Abhängigkeit des wirksam werdenden Ge-<br>ruchsreizes von den Bedingungen der<br>Reizapplikation                                                                            |    |
| A) "Blast injection technique" und na-<br>türliches Atmen                                                                                                                         | 19 |
| B) Mono- und dirhine Reizapplikation                                                                                                                                              | 25 |
| C) Relative Feuchtigkeit und Tempera-<br>tur des Reizgasgemisches                                                                                                                 | 26 |

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.5: Mitbeteiligung anderer Sinne beim Geruchserlebnis                                                                                                                                           | 27 |
| II.6: Adaptation - Readaptation                                                                                                                                                                   | 29 |
| A) Allgemeines                                                                                                                                                                                    |    |
| B) Adaptation beim Geruchssinn                                                                                                                                                                    |    |
| C) Ort der Adaptation                                                                                                                                                                             |    |
| II.7: "Reine" Luft - "Nullreiz"                                                                                                                                                                   | 33 |
| II.8: Schwellenwerte                                                                                                                                                                              |    |
| A) Allgemeines über Riechschwellen                                                                                                                                                                | 34 |
| B) Faktoren, die Einfluß auf die Riechschwellen haben                                                                                                                                             | 41 |
| III. Forderungen für eine exakte Prüfung der Leistungen des Geruchssinnes                                                                                                                         |    |
| III.1: Qualitative Geruchsprüfung - "intravenöses Riechen" - Simulationsproben                                                                                                                    | 44 |
| III.2: Quantitative Geruchsprüfung (Geruchsmessung)                                                                                                                                               |    |
| A) qualitative Reizcharakterisierung                                                                                                                                                              | 48 |
| B) quantitative Reizcharakterisierung                                                                                                                                                             | 50 |
| C) apparative Bedingungen                                                                                                                                                                         | 51 |
| IV. Methoden zur Herstellung quantitativ charakterisierter Reize                                                                                                                                  |    |
| IV.1: Methoden, die auf einer Gewichtsbestimmung des Riechstoffes und auf der Herstellung von Verdünnungsreihen beruhen<br>VALENTIN, PASSY, HENNING, PROETZ u.a.                                  | 55 |
| IV.2: Methoden, die auf der Verdunstung von Riechstoffen in Abhängigkeit von der freien Oberfläche und auf der Entfernung von der Riechstoffquelle beruhen<br>FRÖHLICH u.a., GRAZZI, ZWAARDEMAKER | 64 |
| IV.3: Methoden, bei denen die Intensität aus dem Dampfdruck der Riechstoffe bestimmt wird<br>WOODROW und KARPMAN, HOFFMANN und KOHL-RAUSCH, HESSE, WENZEL (1948)                                  | 74 |
| IV.4: Methoden, die auf der Mischung von Luftströmen mit und ohne Riechstoffe beruhen<br>GUNDLACH und KENWAY, NEUHAUS, JOHNSTON u.a.                                                              | 84 |
| IV.5: Nach dem derzeitigen Kenntnisstand "vollkommene" Messmethoden                                                                                                                               |    |
| A) Das Olfaktometer von STUIVER mit Injektionsapparat (1958)                                                                                                                                      | 90 |

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| B) "A rational olfactometer" von BOZZA, CALLEARO und TEATINI (1960)                                                                                | 99  |
| Methode von WENZEL (1955) - "Olfaktorium" - Regulierung des Inspirationsdruckes nach LE MAGNEN                                                     |     |
| V. "Objektive" Olfaktometrie - Verfahren zur Messung von Geruchsintensitäten auf Grund physikalischer und chemischer Eigenschaften der Riechstoffe |     |
| V.1: "Objektive" Olfaktometrie                                                                                                                     | 112 |
| A) Durch Messung von Nebenwirkungen                                                                                                                |     |
| B) Durch direkte und indirekte Potentialableitungen - "Olfakto-EEG"                                                                                |     |
| V.2: Messung von Geruchsintensitäten auf Grund physikalischer und chemischer Eigenschaften der Riechstoffe                                         | 114 |
| A) Methoden der analytischen Chemie - Radioaktive Geruchsstoffe                                                                                    |     |
| B) "Elektronische Nase" - CASTELLO                                                                                                                 |     |
| C) Oberflächenladung - "Electro-Odocell"                                                                                                           |     |

Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

Lebenslauf



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41548813\\_0001](https://archive.org/details/IA41548813_0001)

## Kapitel I: Einleitung und Zielsetzung der Arbeit.

### I.1: Stand der Erkenntnisse vom Geruchssinn im Vergleich zu dem anderer Sinne.

1799 sagte CUVIER in seinen "Leçons d'Anatomie Comparée":  
"Unter all den Dingen, die auf unsere Sinne einwirken, wissen wir von jenen am wenigsten, die eine Geruchsempfindung hervorrufen" (34).

1947 begann der englische Physiologe ADRIAN seine Vorlesung über den Geruchssinn mit den Worten:

"We know so little about the sense of smell that I must start by excusing myself for choosing such an unusual subject for a lecture" (3).

1965 zeigt ein auch nur flüchtiger Blick in die einschlägige Literatur, daß sich daran nichts geändert hat.

"In unserem Fachgebiet hat der erste Hirnnerv schon von jeher ein wenig beachtetes Dasein geführt. BEYER sprach vom "Stiefkind Nase" (76).

Die Erforschung des Geruchssinnes hat nicht an dem grossen Aufschwung teilgenommen, den die Sinnesphysiologie in den letzten Jahrzehnten genommen hat. Einige Gründe dafür sollen kurz erwähnt werden.

- a) Aus einer Mindereinschätzung des Geruchssinnes im Vergleich zu anderen Sinnen resultiert ein mangelndes Interesse an der Erforschung seiner Eigenheiten.

"Welcher Organsinn ist der undankbarste und scheint auch der entbehrlichste zu sein? Der des Geruchs. Es belohnt nicht, ihn zu kultivieren, oder wohl gar zu verfeinern, um zu genießen; denn es gibt mehr Gegenstände des Ekels (vornehmlich in volkreichen Örttern) als der Annehmlichkeit, die er verschaffen kann, und

der Genuß durch diesen Sinn kann immer auch nur flüchtig und vorübergehend sein, wenn er vergnügen soll" (102).

"!..Gerüche aber sind immer angenehm oder unangenehm, Geschmäcke noch mehr. Die beiden letzteren sind also am meisten mit dem Willen inquinert: Daher sind sie immer die unedelsten und von KANT die subjektiven Sinne genannt worden" (174).

An gegenteiligen Meinungen hat es zu keiner Zeit gefehlt. Phantasievolle und phantastische Verehrer des Geruchssinnes hat es immer gegeben. Der "französische Nietzsche", Jean Marie GUYAU (1854-1888) mag stellvertretend für sie alle angeführt sein. Aus einem ekstatischen Vitalismus heraus vertrat er jene Lehre von der Vermittlung der höchsten ästhetischen Genüsse durch die niederen Sinne. Der Ästhezist HUYSMANS (92), ein Anhänger dieser Lehre von GUYAU, konstruierte mit Getränken und Speisen "Mundorgeln des Geschmacks", mit Gerüchen "Geruchsharmonien" und suchte ihnen ästhetische Seiten abzugewinnen. "Dabei ist es charakteristisch, daß der höhere ästhetische Genuß nur durch Assoziation mit visuellen und akustischen Bildern zustande kommt, also durch Anlehnung an die eigentlichen ästhetischen Sinne" (72).

Entwicklungsgeschichtlich steht fest,

"...daß die Älteste Rinde sich zunächst mit den Teilen des Palaeencephalons verknüpft, welche dem Geruchs- und dem Oralsinn dienen und daß erst ganz allmählich sich andere Rindengebiete ihr zugesellen... Diese Hirnteile sind aufzufassen als hochorganisierte Zentren, die ihre Anregung zwar aus dem niederen Riechmechanismus erhalten, aber durch ihren Bau ausgedehnter Eigentätigkeit befähigt sind" (44).

"Einfacher gesagt, ist alles, was wir denken, unsere Persönlichkeit und unsere charakterliche Anlage letzten Endes eine umgebaute ehedemalige Funktion des ersten Hirnnervens. Im Sprachschatz finden sich dafür noch manche Anhaltspunkte, denn wenn man heutzutage sagt "ich kann den Kerl nicht riechen", dann meint man nicht den körpereigenen Geruch der betreffenden Person, sondern deren charakterliche Eigenschaften" (76).

Der Mensch hat sich zum Seh- und Hörwesen entwickelt, die ursprüngliche "Abhängigkeit von seiner Nase" (131) trat immer mehr in den Hintergrund. Den einst auch für den Menschen so machtvollen Einfluss des Geruchs mögen wir abschätzen an seiner großen Bedeutung für Ernährung und Fortpflanzung im Tierreich, letztlich für Wachsen und Überleben jeglichen tierischen Seins in der Welt. Heute kommt dem "primitiven" Geruchssinn wohl als "Erreger tiefer und geheimnisvoller emotioneller Sphären des menschlichen Individuums" (27) eine wichtige - mehr im Ganzen erahnte als im Einzelnen erforschte - Rolle zu.

Wohl jedermann kennt die Macht irgendeines Geruches, der - ungewollt auftauchend - sich kundtut in einem un-mittelbaren und wirklichkeitsnahen Erinnern an ein frühes Kindheitserlebnis. Und doch bedeutet auch heute der primitive Geruchssinn den meisten nicht viel. Das Bekannntnis GÜTTICH's zu ihm ist die Ausnahme von der Regel:

"Ich würde in der Tat in gar nicht so arge Verlegenheit gesetzt werden, wenn mir ein Tyrann jetzt den Entscheid vorlegte, entweder den Olfactorius beiderseits oder den Facialis einerseits zu verlieren. Selbst bei 0 % EM auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt würde ich meinen ersten Hirnnerv zu erhalten trachten. Nie wieder einen Braten richtig schmecken, nie wieder mit Genuß Bier oder Wein trinken und all die anderen tausend Dinge vernehmen, die uns das Dasein würzen!" (76)

Den Menschen unserer Zeit gelten viel mehr Hören und Sehen als "facultas sine qua non" (184). Sie sind ja auch zweifelsohne diejenigen der "fünf" Sinne, deren Verlust immer eine spürbare soziale Behinderung und wirtschaftliche Nachteile mit sich bringt.

- b) Durch anatomische und physiologische Besonderheiten des Geruchssinnes ergeben sich große Schwierigkeiten bei experimentellen Untersuchungen.

Der Geruchssinn ist der einzige Fernsinn ohne anatomisch abgegrenztes Sinnesorgan. Am Dach der beiden Nasenhöhlen,

der direkten Besichtigung entzogen, liegen in der etwa 2 cm<sup>2</sup> großen Regio olfactoria, in die Zellen der gewöhnlichen Nasenschleimhaut eingestreut, beiderseits je etwa 10 Millionen Riechzellen. Während sonst die sensible Nervenfasern als Fortsatz einer Ganglienzelle an die periphere Sinneszelle heranzieht und sich mit ihr erst sekundär verbindet, entspringt die erste zentripetale Nervenfasern der Riechzelle aus der peripheren Nervenzelle selbst. Die Riechzelle ist also Sinneszelle und Ganglienzelle zugleich. Ein Analogon hierzu findet sich nur noch in den Stäbchen der Netzhaut des Auges. Die zentripetalen Fasern ziehen, in den Fila olfactoria gebündelt, durch die unmittelbar über der Regio olfactoria liegende Lamina cribrosa zum Bulbus olfactorius, wo sie mit den Mitralzellen die Glomeruli olfactorii bilden. Die Fila olfactoria sind im Gegensatz zu allen sonstigen ersten sensiblen Neuronen (mit Ausnahme derjenigen der Stäbchen in der Netzhaut) marklos.

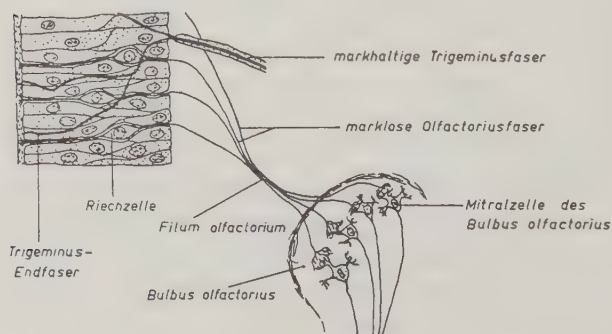


Abb.1: Halbschematische Darstellung des ersten Riechneurons (unter Verwendung von Abbildungen bei AMOORE et al.(9) und MOZELL and PFAFFMANN (137))

Welche Folgerungen ergeben sich aus diesen anatomischen Besonderheiten des Riechapparates?

KEIDEL schrieb 1956 über die Entwicklung des Sinnesphysiologie:

"...erst mit der Entwicklung neuer Methoden gelang es nun in der Kette vom Reiz zur Erregung von Sinneszellen, Nerv und Ganglienzellen Glied für Glied die quantitativen Besonderheiten der biologischen Informations-Umformung wirklich zu messen und zusammen mit den Schwellenmessungen eine tragende Brücke wenigstens zu einfachen Bewußtseinsinhalten zu schlagen" (103).

Fast ausschließlich im Bereich der Elektrophysiologie erfolgte diese Entwicklung neuer Methoden. Ohne den enormen Aufschwung der Elektrophysiologie in den letzten Jahrzehnten wäre der hohe Wissensstand in der Physiologie anderer Sinne, z.B. des Ohres, nicht denkbar.

Erst etwa 1956 soll es - wie einer Fußnote der Arbeit von MULLINS (139) zu entnehmen ist - BEIDLER gelungen sein, Aktionspotentiale von den marklosen und kurzen Riechfasern bei Tieren abzuleiten. Die erste bedeutende elektrophysiologische Arbeit über Untersuchungen an den peripheren Riechnerven veröffentlichte dann auch 1956 OTTOSON (152). Zu diesem Zeitpunkt aber hatte die "konventionelle" Elektrophysiologie (eben die der markhaltigen Fasern) die peripheren Probleme weitgehend gelöst und sich - auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauend - bereits den zentralen Problemen zugewandt. Bei der Kompliziertheit so zahlreicher, sich gegenseitig beeinflussender Problemkreise ist bei sinnesphysiologischen Forschungen eben der aufsteigende Weg, von der Peripherie zum Zentrum, erfolgversprechender als der absteigende. So haben auch die frühen Versuche von z.B. HASAMA (80) über die elektrischen Begleiterscheinungen an der Riechspäre bei der Geruchsempfindung und die etwas späteren, vor allem von ADRIAN (1,2,4,7), über die Aktionspotentiale des Bulbus olfactorius keine exakten und grundsätzlichen Erkenntnisse weder über die peripheren noch die zentralen Probleme beim Riechen zeitigen können.

- c) Es ist bis heute noch nicht gelungen, den adäquaten Reiz des Geruchssinnes exakt zu definieren.

Eine Grunderkenntnis der Sinnesphysiologie ist, daß ein Sinnesorgan auf qualitativ verschiedenartige Reize stets "spezifisch" antwortet. Z.B. entsteht sowohl durch Auftreffen von Lichtreizen auf die Netzhaut als auch durch die Einwirkung von mechanischer Energie auf das Auge jeweils die für dieses Sinnesorgan spezifische Lichtempfindung. Ein fundamentaler Unterschied liegt dabei jedoch darin, daß die für eine Schwellenerregung notwendige Energiemenge sehr verschieden ist. Im angeführten Beispiel des Auges beträgt sie: Für den optischen Reiz 1 Lichtquant, für den mechanischen Reiz einige Gramm.

Unter dem "adäquaten" Reiz versteht man nun - nach der gebräuchlichsten Definition - diejenige Reizqualität die für eine Schwellenerregung des Sinnesorganes den kleinsten Energieaufwand nötig hat.

Für fast alle Sinnesorgane ist der jeweilige adäquate Reiz längst erkannt und nach Maß und Zahl exakt bestimmbar. Er besteht z.B. für den Gesichtssinn in den (transversalen) Schwingungen elektromagnetischer Felder, qualitativ charakterisiert durch die Wellenlänge, quantitativ durch das "Lumen"; für den Gehörsinn in den (longitudinalen) Schwingungen von Materie, qualitativ charakterisiert durch die Frequenz, quantitativ durch das "Phon". Für den Geruchssinn ist der adäquate Reiz unbekannt. Sicher wissen wir über ihn nur, daß er chemischer Natur ist, in irgendeiner Moleküleigenschaft begründet liegt. In dem von so vielen Meinungen und Widersprüchen übersäten riesigen Feld des Phänomens Geruch ist dies letzten Endes bisher das einzige Körnchen exakten Wissens. Denn alles, was auch immer durch die seitherigen Erforschungen vom Geruchssinn "bekannt" ist, entbehrt solange einer soliden Grund-

lage, als es nicht in qualitativ und quantitativ messbare Beziehung zu einer kontrollierten Verabreichung des adäquaten Reizes gesetzt werden kann.

"The cardinal difficulty in work on the stimulation and perception of the chemical senses has always been our inability to characterize the stimulus" (132).

- d) Einige dem Geruchssinn eigene psychologische Schwierigkeiten erschweren die Geruchsforschung.

Wie sonst bei keinem menschlichen Sinn besteht beim Geruch eine nicht geringe Schwierigkeit darin, die Sinneserlebnisse mit geeigneten und eindeutigen sprachlichen Ausdrücken zu kennzeichnen. Was sagen schon Bezeichnungen wie "blumig", "minzig", "faulig" o.ä., die zur Charakterisierung ganzer Geruchsklassen verwendet wurden und werden? Wie unzulänglich ist ein Geruch etwa mit der Bezeichnung "wie eine Rose" definiert!

Die für die Untersuchung aller Sinne so bedeutsame Subjektivität der Reizbeantwortung scheint beim Geruch um ein vielfaches komplizierter als sonst zu sein. "Mehr als alle anderen Sinnesempfindungen rufen Gerüche ja unmittelbar die stärksten Gefühlstöne hervor" (81). Dies ist mit der Grund dafür, daß es beim Geruchssinn bisher nicht gelang, eine exakte Gesetzmäßigkeit zwischen Empfindungsmaß und Reizstärke zu finden - so wie dies im WEBER-FECHNER'schen Gesetz postuliert wird und exakter in den von FLETCHER und MUNSON (57), später von STEVENS (181) durch subjektive Halbierung und Verdoppelung gewonnenen Skalen für andere Sinne erkannt worden ist.

#### I.2: Die zunehmende praktische Bedeutung von Geruchsproblemen gibt der Geruchsforschung neue Impulse.

Die Empfindlichkeit des Geruchssinnes ist "sprichwörtlich" (9), "phänomenal" (20), "in der Tat bemerkenswert" (21). In kürzester Zeit vermag die menschliche Nase Substanzen

zu identifizieren, für deren Nachweis ein Chemiker mit dem Rüstzeug eines großen analytischen Labors Monate bräuchte (9). Ein 23-millionstel Milligramm Mercaptan vermag die menschliche Nase zu entdecken (40). Dabei konnte NEUHAUS (142) nachweisen, daß die Riechschärfe des makrosmatischen Hundes z.B. für Fettsäuren 1-100 Millionen mal größer ist, als die des mikrosmatischen Menschen. Durch eine Überschlagsrechnung konnten er und MÜLLER zeigen, daß beim Hund nur 1 Molekül Buttersäure bzw. Mercaptan zur Erregung einer Sinneszelle erforderlich ist (138,144,145). Für den Menschen errechnete STUIVER, daß mit Sicherheit 9 Moleküle Mercaptan ausreichen, wahrscheinlich jedoch nur 1 Molekül nötig ist, um eine Riechzelle zu erregen und daß lediglich 40 der rund 10 Millionen Riechzellen gleichzeitig erregt werden müssen, damit eine Riechempfindung auftritt (182). So kann PATTY urteilen:

Perhaps the most usefull of all methods of detecting and estimating gases and vapors in the air is by their odors and irritant effects (158).

Die als Phänomen so erstaunliche Empfindlichkeit des menschlichen Geruchssinnes bildet die Grundlage dafür, daß Geruchsprobleme eine immer stärker werdende praktische Bedeutung erlangen. In den Vereinigten Staaten von Amerika früher als in Europa brachte die fortschreitende Zivilisation und Industrialisierung - mit der Ballung großer Menschenmassen auf kleinem Raum, dem immer größer werdenden Kraftfahrzeugverkehr, den immer mehr anwachsenden und belästigenden Abgasen der Industrie und vielem mehr - neben der Belästigung durch Rauch und Staub und der Gefährdung von Gesundheit und Leben durch cancerogene Stoffe auch eine immer stärkere Belästigung des Menschen durch Gerüche.

So kommt es, daß heute die gesamte Industrie - nicht nur die, die sich mit der Luftreinigung, dem "make up" der Luft (111), befaßt - daß Regierungen und Parlamente Inter-

esse an Geruchsproblemen zeigen, ja zeigen müssen. Gesetze, wie z.B. "The Clean Air Act and Noise Abatement Act of England" (zit.n.(184)) bestimmen die Grenzen der zulässigen Luftverunreinigungen - und müssen sich dabei selbstverständlich auf geeignete Methoden zur Feststellung und Messung dieser Verunreinigungen beziehen. Da solche Methoden nur das Ergebnis von Grundlagenforschungen sein können, hat durch die zunehmende praktische Bedeutung der Geruchsproblematik vorallem auch die Geruchsmessung neuen Antrieb erhalten.

Immer dringender wird auch das Problem, durch die Berufsausübung mögliche Schädigungen des Geruchssinnes zu verhindern bzw. beruflich bedingte Geruchsschäden gutachtlich zu beurteilen. Voraussetzung dazu ist, die durch neue Synthesen immer größer werdende Anzahl chemischer Substanzen auf ihre eventuelle olfakto-toxische Wirkung hin zu untersuchen.

Auf dem Gebiet anderer Sinnesorgane hat sich eine ähnliche Entwicklung viel früher angebahnt. Quasi als Nebenwirkung dieses erzwungenen Interesses für praktische Probleme resultierte daraus immer eine vermehrte Grundlagenforschung und damit ein Gewinn an Grundlagenwissen.

### I.3: Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit soll sein, einen kritischen Überblick über die seither angewandten Prüf- und Messmethoden des menschlichen Geruchssinnes zu geben. Dies kann nur so geschehen, daß die bekannt gewordenen Methoden zur Prüfung und Messung von Geruchsleistungen dahingehend untersucht werden, ob und inwiefern sie den heutigen Erkenntnissen der Geruchsforschung Rechnung tragen.

Im Kapitel II sollen deshalb zunächst die Kenntnisse vom Geruchssinn nach dem derzeitigen Stand kurz dargestellt werden. Gemäß der Meinung der amerikanischen Psychologin

B.M. WENZEL:

"The problem is not the subjectivity of the response but rather the inability to specify the stimulus" (203) - sollen dabei psychologische Erkenntnisse und Probleme nur kurz gestreift werden. Vieles, was keine direkte Beziehung zu den Mess- und Prüfmethoden des Geruchssinnes hat, bleibt dabei unerwähnt.

Die von diesen Erkenntnissen aus zu fordernden Bedingungen und Anforderungen an die Prüf- und Messmethoden werden in Kapitel III zusammengestellt.

Kapitel IV gibt die kritische Darstellung der seitherigen Methoden zur Herstellung quantitativ charakterisierter Geruchsreize. Es werden dabei die bewährten, die ein neues Prinzip benützenden und die irgendwie interessanten Methoden ausführlich beschrieben, die übrigen nur kurz erwähnt. Zwei (nach dem derzeitigen Kenntnisstand) besonders geeignet erscheinende Methoden der Geruchsmessung werden in einem besonderen Abschnitt des Kapitels IV ausführlich dargestellt. Zudem werden einige Lösungsversuche zum Problem der kontrollierten Reizapplikation geschildert.

Bemerkungen zu einer "objektiven" Olfaktometrie, einen Ausblick auf eine erfolgversprechende Weiterentwicklung der Geruchsmessung und die kurze Erwähnung einiger Verfahren zur Messung von Riechstoffen auf Grund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften beinhaltet das Kapitel V.

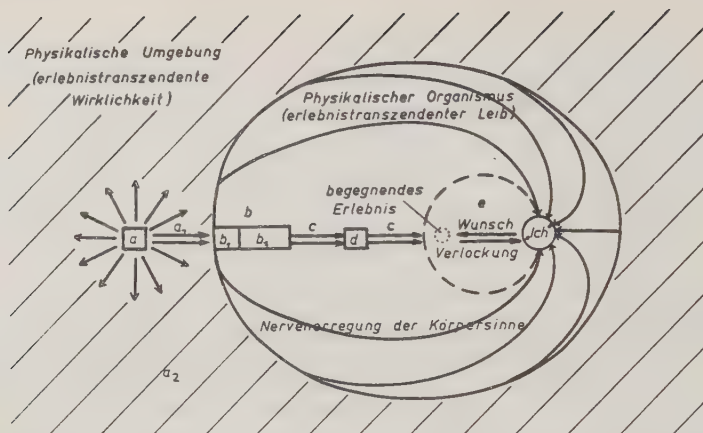
Kapitel II: Kurze Darstellung der derzeitigen Kenntnisse vom Geruchssinn, sofern sie für eine Kritik der Methoden zur Prüfung und Messung von Geruchsleistungen bedeutsam sind.

II.1: Riechvorgang. Adäquater Reiz des Geruchssinnes.  
Riechtheorien.

Wie bei anderen Sinnesleistungen ist das Endziel bei der Erforschung der Geruchsleistungen das Auffinden von gesetzmäßigen Beziehungen zwischen einwirkendem adäquatem Reiz, der durch ihn ausgelösten Erregung des Geruchsorganes und der letztlich resultierenden Geruchsempfindung.

Der Riechvorgang kann grob schematisch in seinen Hauptabschnitten etwa so dargestellt werden (Abb.2):

Von einer Riechquelle (a) aus wird der adäquate Reiz ( $a_1$ ) von einer Überträgersubstanz ( $a_2$ ) an die Sinneszellen des Riechorganes (b) herangebracht. In ihnen wird der Reiz percipiert ( $b_1$ ) und löst den Prozess der "Transformation des Reizes in die Erregung" (166) des Sinnesorganes aus ( $b_2$ ). Die Erregung wird auf den vorbestehenden nervalen Bahnen (c) über verschiedene Schaltstellen (d) ins psychophysische Niveau (e) des Zentralnervensystems geleitet, wo sich die zum Reiz gehörende "spezifische" Geruchsempfindung konstituiert.



**Abb. 2:** Der Riechvorgang (schematisch - unter Verwendung einer Abb. bei METZGER, Psychologie, 1941)

Solange der adäquate Reiz des Geruchssinnes nicht bekannt ist, kann es keine "Geruchsmessung per se" geben.

Es ist nun jedoch "a matter of everyday experience that odour is air-borne; we cannot smell through any air barriere such as a glass bottle" (133), oder wie ZWAARDEMAKER 1925 formulierte: "Ohne Luftströmung wird Duft selbst auf kurze Entfernungen nicht verbreitet" (217), oder nach den Worten von E.v.SKRAMLIK: " Ohne Luftbewegungen gibt es keine Geruchsempfindungen" (179).

Erste Grundvoraussetzung für das Riechen ist also das Vorhandensein von riechender Substanz in der Luft, die eingeatmet wird und über die Riechreceptoren streicht. Darin ist man sich seit langem einig.

Unbestritten sind auch seit DYSON (42) die beiden alten Forderungen, daß eine Substanz - soll sie riechen -  
 1. bei durchschnittlichen athmosphärischen Bedingungen verdampfen, d.h. Moleküle in die Umgebung abgeben

muß ("No nonvolatile substance is odorous" (133))

2. in dem Schleim, der die Riechzellen bedeckt, löslich sein muß ("This certainly requires fat solubility and is enhanced by slighty water solubility" (131)).

Unklarheit und Uneinigkeit besteht noch immer über den adäquaten Reiz des Geruchssinnes. Jede der rund 30 bisher aufgestellten Riechtheorien glaubt in einer anderen chemischen oder physikalischen Eigenschaft der - als Träger des adäquaten Reizes unbestrittenen - Riechmoleküle die Ursache für die Auslösung der zur Transformation des Reizes in die Erregung führenden Prozesse gefunden zu haben. 1946 hat MONCRIEFF (130) alle bis dahin aufgestellten Riechtheorien nach der jeweils zwischen postuliertem adäquatem Reiz und Receptor angenommenen Wechselwirkung in 3 Hauptgruppen eingeordnet, in die sich auch die inzwischen noch aufgestellten Theorien fügen:

1. Theorien, die eine Receptorerregung durch einen beim "bombardment" der Riechmoleküle ausgelösten chemischen Prozess annehmen
2. Theorien, die eine Receptorerregung durch Schwingungen annehmen, die von den anwesenden Riechmolekülen ausgehen
3. Theorien, die eine Receptorerregung durch Wellen - oder Photonstrahlung vom oder zum Riechmolekül annehmen.

Keiner Riechtheorie gelang es bisher, widerspruchslös alle Phänomene des Geruchssinnes zu erklären. Dem erstrebten Ziel am nächsten kommt zweifelsohne die "Stereochemische Theorie", die von MONCRIEFF aufgestellt wurde. Bereits 1949 erhob MONCRIEFF neben den beiden alten Forderungen (der Flüchtigkeit und der Fett- und Wasserlöslichkeit) als 3. Forderung, daß eine Riechsubstanz

"must also have a molecule of suitable shape and dimensions, such molecules being complementary in shape to molecules that about in the olfactory receptor" (131).

Bereits 1949 nahm er an, daß

1. mehrere sich voneinander unterscheidende Receptortypen im Riechepithel vorhanden sind, von denen jede einem "Primärgeruch" zugeordnet ist
2. die Riechmoleküle ihre spezielle Wirkung nur dann entfalten können, wenn sie genau in die speziellen "receptor sites" hineinpassen.

Diese Hypothese von MONCRIEFF ist also nichts anderes als eine Anwendung des EHRLICH'schen Prinzips vom "Schlüssel-ins-Schloß-passen", das sich ja z.B. zur Erklärung von Antigen-Antikörper-Reaktionen sehr bewährt hat. Die darauf aufgebaute "stereochemische Theorie" scheint (nach dem derzeitigen Wissensstand) richtig zu sein. Die amerikanische Forschergruppe AMOORE, JOHNSTON und RUBIN (9) konnte nämlich zeigen:

1. Es gibt 7 der von MONCRIEFF geforderten "Primärgerüche": Kampferartig (camphoraceous), moschusartig (musky), blumig (floral), minzig (pepperminty), ätherisch (ethereal), stechend (pungent) und faulend (putrid).
2. Der den Geruch einer Substanz bestimmende Faktor ist "the over-all geometric shape of the molecule rather than any details of its compositions or structure" - (lediglich für die Primärgerüche "stechend" und "faulend" wird die positive bzw. negative Ladung des entsprechenden Moleküls verantwortlich gemacht; für die übrigen 5 Primärgerüche ist die räumliche Gestalt der Moleküle maßgebend).
3. Für die Annahme, daß den 7 Primärgerüchen wie dem passenden Schlüssel das entsprechend geformte Schloß als Einbuchtung auf dem Receptor zugeordnet ist, ergaben die bisherigen elektronenmikroskopischen Untersuchungen zwar noch keinen Beweis - alleine: R.C.GESTELAND ist es gelungen, 8 verschiedene Receptortypen beim Frosch elektrophysiologisch nachzuweisen (mitgeteilt bei (9)), von denen 5 durch "Primärgerüche" er-

regt werden - und SCHNEIDER (München) glückte bei Schmetterlingen der Nachweis zweier auf unterschiedliche Gerüche reagierender Receptorarten (mitgeteilt bei (184)).

4. Aus der bekannten Größe und Form synthetisierter chemischer Substanzen kann ihr Geruch richtig vorausgesagt werden.
5. Durch entsprechende Mischung von Primärgerüchen können natürliche Gerüche - z.B. der von Cedernholzöl - nachgeahmt werden.
6. Die Primärgerüche können sowohl von Menschen als auch von Bienen klar voneinander unterschieden werden. Moleküle ähnlicher Größe und Form riechen dagegen ähnlich.

Noch bei keiner der früheren Riechtheorien ist es gelungen, solch überzeugende experimentelle Beweise für die Richtigkeit zu erbringen. So konnte im Januar 1965 DISHOECK die anerkennenden Worte schreiben:

"Up to now, contrary to the other 30 existing theories, no important contradictory observations are known" (38). Wenn - wie es scheint - diese stereochemische Riechtheorie richtig ist, so ist dies letztlich nur der Beweis für eine über 2000 Jahre alte Theorie des Riechens: TITUS LUCRETIUS CARUS (98-55 v.Chr.) vertrat eine auf der Atomlehre von DEMOKRIT und LEUKIPP basierende Anschauung vom Riechvorgang, die in allen wesentlichen Einzelheiten mit den zugrundeliegenden Prinzipien der stereochemischen Riechtheorie von MONCRIEFF übereinstimmt ("De rerum natura" (119), 2.Buch, Vers 414-417 und 422-429; 4.Buch, Vers 649-657).

## II.2: Die Geruchsintensität und ihre Abhängigkeit von physikalischen Bedingungen.

Die im allgemein bedenkenlos gemachte Annahme, daß der in irgendeiner Eigenschaft der Riechmoleküle verankerte ad-

äquate Geruchsreiz quantitativ direkt proportional der Anzahl der Riechmoleküle ist, dürfte zwar richtig sein, ist jedoch keinesfalls selbstverständlich. Rein theoretisch könnte ja durchaus möglich sein, daß die Summierung adäquater Reize beim Geruch anderen als "alltäglichen" Gesetzen folgt. Nicht immer ist ja bei biologischen Vorgängen  $1 + 1 = 2$ .

Trotz dieses theoretischen Einwandes wird (nach dem heutigen Stand der Kenntnisse) als Maß für die Geruchsinintensität am besten die Anzahl der Riechmoleküle pro Kubikzentimeter Einatemungsluft definiert.

Diese Anzahl der in einem Kubikzentimeter eines Gasgemisches enthaltenen Moleküle der einzelnen Bestandteile ist bei hinreichender Verdünnung und konstanter Temperatur ihren Partialdrucken proportional (Gesetz idealer Gase). Ist die Luft mit dem Dampf einer Substanz gesättigt, so ist die Konzentration der Substanzmoleküle also dem Dampfdruck proportional. Dieser Dampfdruck steigt mit der Temperatur an.

Ist der zu verdampfende Riechstoff in einem Lösungsmittel gelöst, so ist bei Sättigung der Partialdruck der Riechstoffmoleküle im Gas über der Flüssigkeit proportional zur Konzentration des Riechstoffes in der Lösung (HENRY'sches Gesetz).

Für die Gasgemische (Riechstoffmoleküle in einem bestimmten Gas, meist Luft) gelten die bekannten Gasgesetze von BOYLE-MARIOTTE und GAY-LUSSAC.

Unter kontrollierten Bedingungen wird es also mit Hilfe der erwähnten physikalischen Gesetze jederzeit möglich sein, in einem Riechstoff-Luft-Gemisch die Anzahl der Riechmoleküle pro Kubikzentimeter anzugeben und damit eine quantitative Ersatzcharakterisierung eines Geruchsreizes vorzunehmen. Wir sind uns dabei bewußt, daß wir keine Charakterisierung des ja letztlich noch unbekannten adäquaten

Geruchsreizes vor uns haben. Mit der Molekülanzahl pro Kubikzentimeter Luft haben wir jedoch mit Sicherheit ein mit dem adäquaten Reiz in direktem, wohl sogar in linearem Verhältnis stehendes Maß für die Geruchsintensität gewonnen.

II.3: Abhängigkeit des wirksam werdenden Geruchsreizes von strukturellen und funktionellen Gegebenheiten der Nase.

Soll eine Geruchsempfindung zustande kommen, so muß die mit Riechmolekülen beladene Luft in direkten Kontakt mit dem Riechepithel treten (wegen des Problems des "intra-venösen Riechens" s.u.). Prinzipiell gibt es dafür zwei Möglichkeiten:

1. Die Riechmoleküle gelangen mit der Einatemungsluft in die Nase und zum Riechorgan.
2. Die Riechmoleküle erreichen die Riechregion beim Ausatmen vom Rachen her durch die Choanen (sogenanntes "gustatorisches Riechen").

Ist der Zugang zur Riechregion blockiert (Deformierung des Nasengerüsts, Fremdkörper, Tumoren, Schwellung u.a.), so kommt es zur sogenannten "konduktiven Anosmie" (38), bei der im Gegensatz zur "perceptiven Anosmie" keine Schädigung an Riechepithel, Riechbahnen oder Riechhirn vorliegt. Am Extremfall der völligen Verlegung des Zugangs zum Riechepithel (wie z.B. beim Schnupfen) wird klar, wie entscheidend wichtig es für das Riechen ist, ob und in welchem Ausmaß die eingeatmete Luft über das Riechepithel streichen kann.

PROETZ (163) gab 3 strukturelle Eigenschaften der Nase an, die den zum Riechepithel gelangenden Anteil des Inspirationsstromes hauptsächlich beeinflussen:

1. Die Ebene, in der die Nasenöffnungen stehen.
2. Die Konfiguration der Nasenhöhlen.
3. Das Größenverhältnis zwischen den äußeren Nasenöffnungen und den Choanen.

Von früher nicht erkannter großer Bedeutung ist dabei der in Abhängigkeit von den momentanen Atemverhältnissen selbsttätig sich regulierende Ventilmechanismus am "most constricted point of the respiratory tract" (182), dem Isthmus der Nase. Die Einatemungsluft wird am Isthmus nasi in fast vertikaler Richtung auf das Dach der Nasenhöhle zu dirigiert (182). Entgegen der früheren Meinung, daß "beim Einatmen der kontinuierliche Luftstrom im allgemeinen nur bis in die Gegend der mittleren Nasenmuschel hinaufreicht" (z.B.88) konnten PROETZ (163) und STUIVER (182) experimentell nachweisen, daß die Einatemungsluft unter normalen Bedingungen mit Sicherheit am Riechepithel vorbeistreicht. Für die normale Atmung (12-16 Atemzüge pro Minute, Atemvolumen 500 ml, also 250 ml durch jede Nasenhöhle) konnte STUIVER in Modellversuchen zeigen:

1. Durch die unteren Anteile der Nasenhöhle zieht kein Luftstrom. Die Einatemungsluft streicht durch jenen Teil der Nasenhöhlen, der vom Nasendach und einem 1,5 cm oberhalb des Nasenbodens liegenden Punkt begrenzt ist. Es wird also nur etwa  $\frac{2}{3}$  der Nasenhöhle ausgenutzt.
2. Der Anteil, der durch den oberen Nasengang (die Riechspalte) zieht, beträgt mindestens 5, höchstens 10 % des Atemvolumens. Bei Atemvolumina, die größer als 500 ml sind, wird der durch den Riechspalt streichende Anteil des Luftstromes größer (als Folge des Ventilmechanismus im Isthmusbereich?). Er erreicht maximal 20 %.

Bei normaler Atmung ist der Luftstrom in der Nase im wesentlichen laminar, es kommt nicht zu stärkeren Wirbelbildungen. Schon FICK (55) und später ZWAARDEMAKER (212,217) konnten dies sehr schön nachweisen: Ein Riechstoff ist bei normaler Atmung nur dann zu riechen, wenn er an ganz bestimmte Stellen vor die Nase gebracht wird.

Beim "Schnüffeln" wird eine starke Wirbelbildung in der Einatemungsluft erreicht. Daneben soll der Unterdruck in

der Riechspalte gegenüber dem Hauptstrom der Einatemungs-  
luft für kurze Zeit größer werden und dadurch - am Ende  
des Schnüffeln - Luft in den Riechspalt gesogen werden  
(38). Sicher ist, daß der Anteil der durch den Riech-  
spalt strömenden Einatemungsluft und damit der wirksame  
Geruchsreiz beim Schnüffeln größer wird. Schwer zu be-  
urteilen ist der Einfluß auf den wirksam werdenden Ge-  
ruchsreiz durch eine (evtl. reflektorische) Änderung des  
Schwellungszustandes der Nasenmuscheln (als Abwehrreak-  
tion gegen einen zu starken Geruchsreiz?) und eine da-  
durch hervorgerufene Änderung des Luftstromes in der  
Nase mit evtl. stärkerer Wirbelbildung.

Die von Riechstoff zu Riechstoff verschieden große Ad-  
sorption auf der die Riechzellen bedeckenden Schleim-  
schicht und die verschieden große Löslichkeit der Riech-  
stoffe in ihr (beides in Abhängigkeit von der variablen,  
noch unbekannten Gesetzen folgenden Zusammensetzung der  
Schleimschicht) bringen noch nicht überschaubare und noch  
nicht messbare Veränderungen des wirksam werdenden Ge-  
ruchsreizes.

Daß die Größe der Nasennebenhöhlen einen Einfluß auf die  
Stärke einer Geruchswahrnehmung hat, konnte ICHIHARA  
et al. (95) nachweisen: Mit einer schlechten Pneumati-  
sation der Nasennebenhöhlen sind höhere Riechschwellen  
und häufig Geruchsstörungen verbunden.

#### II.4: Abhängigkeit des wirksam werdenden Geruchsreizes von den Bedingungen der Reizapplikation.

##### A) "Blast injection technique" - natürliches Atmen.

Bei normaler Atmung variieren Atemvolumen und Einat-  
mungsgeschwindigkeit willkürlich von Atemzug zu Atem-  
zug. Die Grundvoraussetzung jeder quantitativen Ge-  
ruchsmessung, eine Konstanz des Reizes über einen ge-  
wissen Zeitraum hinweg dadurch zu erreichen, daß in  
jeder Zeiteinheit immer eine gleichgroße Anzahl von

Riechmolekülen an das Riechepithel herangebracht wird, kann also weder beim normalen Atmen, weniger noch beim willkürlichen Atmen erfüllt sein.

Um diesen Mißständen zu begegnen führten 1935 ELSBERG und LEVY (47,53) die "blast injection technique" ein. Bei angehaltenem Atem wird dabei der Versuchsperson ein Ersatz-"sniff" duftgesättigter Luft in die Nase geblasen. Für diese Injektion ist das Volumen, die Injektionszeit und der Injektionsdruck leicht mess- und regulierbar. Der Methode liegt die Vorstellung zu Grunde, daß für die Geruchswahrnehmung ein Schwellenvolumen des Riechgasen und eine bestimmte Kraft Voraussetzung ist, mit der die Riechmoleküle auf die Riechschleimhaut auftreffen müssen. Es konnte dann auch nachgewiesen werden (48,98,99), daß aerodynamische Bedingungen bei der Bestimmung von Geruchsschwellen mit der Einblastechnik nach ELSBERG eine entscheidende Rolle spielen: mehr durch den Einblasdruck (sive: -geschwindigkeit) als durch das Einblasvolumen werden die Schwellenwerte beeinflusst.

Die Injektionsmethode von ELSBERG und LEVY (Abb.3):

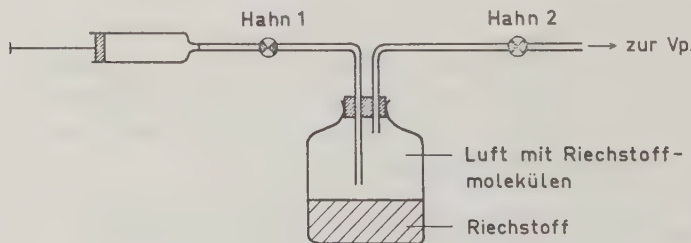


Abb.3: Elsberg-Flasche (schematisch)

In einer abgeschlossenen 500 ml Flasche befinden sich 30 ml eines flüssigen oder festen Riechstoffes, von dem die sich darüber befindliche Luft gesättigt ist. Durch einen Gummistopfen hindurch führt ein Glasrohr bis dicht oberhalb des Geruchsstoffes. Am äußeren Ende dieses Roh-

res ist eine Spritze angebracht, deren Verbindung mit dem Flaschenlumen durch einen Hahn 1 unterbrochen werden kann. Eine zweite Röhre, dicht unterhalb des Gummistopfens endend und gegenüber dem Flaschenlumen durch einen Hahn 2 abzusperren, führt aus der Flasche heraus zu einem Nasenansatzstück. Mit Hilfe der Spritze wird ein bestimmtes Volumen Luft in die Flasche gedrückt, Hahn 1 daraufhin verschlossen. Das Luft-Riechstoffgemisch in der Flasche steht dadurch unter einem bekannten erhöhten Druck, die Flasche ist "geladen". Bei angehaltenem Atem wird der Versuchsperson beim Öffnen des Hahnes 2 Riechlufte in die Nase "geblasen". Das Injektionsvolumen ist dabei so groß, wie das zuvor mit der Spritze in die Flasche gedrückte Luftvolumen. Bei Vergleichsuntersuchungen benützt ELSBERG als Maß den sogenannten "olfactorischen Koeffizienten". Er versteht darunter das Luftvolumen in  $\text{cm}^3$ , das mit der Spritze in die Flasche gedrückt werden muß, damit eine Schwellenwahrnehmung zustande kommt.

Die Bestimmung von Riechschwellen nach dieser ELSBERG'schen Methode ist jedoch so ungenau, daß JONES (99) 1953 die zu erwartende Schwellenänderung dann nicht nachweisen konnte, wenn er bei gleichem Injektionsvolumen und gleicher Injektionsgeschwindigkeit verschiedene Duftkonzentrationen in der Flasche benützte.

Als entscheidende Mängel der "blast injection technique" können aufgezeigt werden:

1. Die Injektionsgeschwindigkeit fällt - infolge des allmählichen Überdruckabfalls in der Flasche - während der Injektion von einem maximalen Anfangswert auf 0 ab. Mehr noch: Je nach der Geschwindigkeit, mit der der Hahn 2 geöffnet wird, ist der Abfall der Injektionsgeschwindigkeit jedesmal ein anderer. Bei dem für die Schwellenbestimmung als so einflußreich erkannten Injektionsdruck (der bei gegebenem und als

konstant zu betrachtendem Strömungswiderstand der Nase proportional ist zur Injektionsgeschwindigkeit) ist dies ein schwerwiegender Fehler.

2. Das Nasenansatzstück kann nie genau in dem von ELSBERG vorgeschriebenem Winkel von 45 Grad zur Horizontalen bei genau aufrecht sitzender Versuchsperson eingeführt werden. Eine Änderung der Einblasrichtung hat aber einen wesentlichen Einfluß auf den in den Riechspalt gelangenden Anteil der gesamten eingeblasenen Luftmenge und damit auf die Schwellenwerte.
3. Der Totraum - also das Volumen des Glasrohres hinter dem Hahn 2, des Nasenansatzstückes und der Nase selbst - wird bei sehr starken Riechsubstanzen im Verhältnis zu dem dann nur kleinen "olfaktorischen Koeffizienten" sehr groß. Von der "Stärke" der Riechstoffe hängt also der Grad der Verfälschung der wahren Messergebnisse durch den Totraum ab.

Der unter 1. genannte Mangel wurde durch WENZEL (201) und STUIVER (182) dadurch beseitigt, daß sie durch geeignete Einrichtungen für einen gleichbleibenden Druck während der gesamten Injektionszeit sorgten (s.u.).

Der Einfluß des Totraumes wurde bisher lediglich von STUIVER berücksichtigt. Er hat für seinen Injektionsapparat experimentell bestimmte Korrekturen an den Messwerten angebracht, die bis zu 20 % betragen.

MULLINS (139) fand, daß die mit der Injektionsmethode bestimmten Schwellenwerte erst von Injektionsgeschwindigkeiten von mehr als ca 5 Liter/Minute konstant sind (Abb.4):

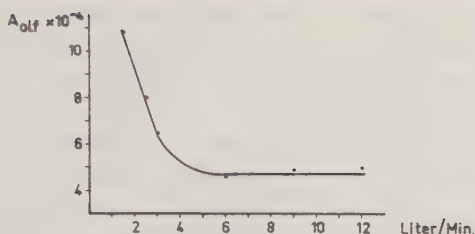


Abb. 4: Abhängigkeit der Schwellenwerte für monorhinale Reizung mit n-Butan von der Injektionsgeschwindigkeit (nach MULLINS (139))

Nach STUIVER ist für diese Abhängigkeit der Schwellenwerte von der Injektionsgeschwindigkeit verantwortlich zu machen:

1. Die Adsorption von Riechmolekülen aus der eingeatmeten und injizierten Riechlufte, noch ehe diese den Riechspalt erreicht. Die Konzentration der Riechlufte nimmt dadurch in der Nase ab. Bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten werden mehr Moleküle adsorbiert als bei großen.
2. Aus der Riechlufte im Riechspalte müssen die Riechmoleküle zu den an den Wänden des Riechspaltes sich befindenden Sinneszellen diffundieren. Dazu brauchen sie Zeit.

Aus dem Wechselspiel zwischen Adsorption und Diffusion läßt sich ableiten, daß bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten die Anzahl der auf die Sinneszellen auftretenden Riechmolekülen deshalb klein ist, weil ein großer Teil zuvor in der Schleimhaut der Nase adsorbiert wird. Für immer größere Strömungsgeschwindigkeiten stellt sich allmählich ein Gleichgewicht zwischen abnehmender Adsorption und abnehmender Diffusion ein (Abb. 5 aus (182)).

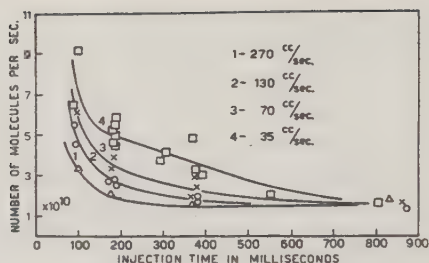


Abb.5: Schwellen für Butyl-Merkaptan (in pro Sek. injizierter Molekülanzahl) in Abhängigkeit von der Injektionszeit.

Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Korrekturen konnte STUIVER errechnen, daß bei normaler Atmung rund 2 % der (in dem in die Nase eintretenden Luft-Riechstoff-Gemisch sich befindlichen) Riechmoleküle auf das Riechepithel auftreffen. 1942 hatte EHRENSVÄRD (46) dafür 1 % geschätzt. Bei einer Injektion mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 100 cm<sup>3</sup>/sek. errechnete er diesen Anteil zu rund 4 %.

Seit ELSBERG und LEVY 1935 die "blast injection technique" veröffentlichten, hat ihre Vorstellung, man müsse die Geruchsreize unter Druck in die Nase einblasen, die meisten experimentellen Untersuchungen des Geruchssinnes beherrscht. Wegen der Nichtbeachtung der ursächlich erst 1958 von STUIVER aufgedeckten Zusammenhänge wurden die widersprüchlichsten Ergebnisse gewonnen. WENZEL sprach 1958 gar von einer geringeren Empfindlichkeit des Geruchssinnes bei Untersuchungen mit der Injektionsmethode gegenüber Untersuchungen bei "natürlichem" Atmen. Nachdem sie jahrelang selbst mit einer Abart der ELSBERG'schen Injektionstechnik gearbeitet hatte, resigniert sie: "It is not inconceivable that we might be better off today if ELSBERG had never publicized his creation" (203).

Es wurden eine ganze Reihe von Einwänden gegen die Injektionsmethode vorgebracht:

1. Den Versuchspersonen soll es schwer fallen, die Methode zuverlässig zu erlernen.
2. Die willkürlich zu verändernde Form von Rachen und Mund beeinflusse den Luftstrom in der Nase.
3. Die extreme Künstlichkeit der Methode erlaube keine Übertragung der Ergebnisse auf natürliche Bedingungen etc. etc. .

So wird heutzutage die Injektionsmethode von vielen Autoren abgelehnt (25,38,107,112,204 u.a.).

"I wonder if this delicate process needs improvement by injection from a "known" amount of molecules of which an unknown quantity will reach an unknown surface of epithelium" (38).

"...natural inhalation, a procedure to be preferred above any injection technique" (107).

#### B) Monorhine und dirhine Reizapplikation.

Monorhin nennt man eine Geruchsreizung dann, wenn der Reiz nur in 1 Nasenöffnung verabreicht wird. Die andere Nasenhälfte erhält dabei keinen Reiz.

Unter dirhiner Reizung versteht man die gleichzeitige Verabreichung desselben Geruchsreizes in beide Nasenhälften (werden dagegen gleichzeitig in jedes Nasenloch zwei verschiedene Reize appliziert, so spricht man von einer dichorhinen Reizung).

Bei der seit ZWAARDEMAKER allgemein üblichen monorhinen Reizung liegen die Riechschwellen höher als bei dirhiner Reizung (81,177,195 u.a.), es gibt also eine "örtliche Summation von Geruchseindrücken" (51,52).

Nicht allgemein anerkannt ist die zum ersten Mal von TOULOUSE und VASCHIDE (195) festgestellte Seitendifferenz: Bei monorhiner Reizung sollen die Schwellenwerte links kleiner sein als rechts. Man versuchte dies dadurch zu erklären, daß die Riechfasern (die ja nicht kreuzen) vom linken Riechfeld zur linken Hemisphäre

"mit ihren Vorzügen" (81) führen. Allerdings wurde das Lumen der beiden Nasenhälften dabei nicht auf eventuelle Seitenunterschiede hin untersucht. Wollte man einer von FALK neu aufgegriffenen Hypothese über die Entstehung der Nasenseptumdeviation folgen, so ließe sich ein Überwiegen des Lumens der linken Nasenhöhle gegenüber dem der rechten so erklären: Durch die Entwicklung des Hirnschädels wird der Gesichtsschädel von oben her eingedrängt; da bei den überwiegenden Rechtshändern die linke Großhirnhälfte größer ist als die rechte, wird also von links oben ein stärkerer Druck ausgeübt als von rechts oben; das Nasenseptum wird somit nach rechts "ausweichen" und damit ein relatives Größerwerden der linken Nasenhöhle und ein besseres Riechvermögen links resultieren.

C) Relative Feuchtigkeit und Temperatur des Reizgasgemisches.

WOERDEMAN hat 1934 gefunden, daß ein Reizgasgemisch bei gleicher objektiver Geruchsintensität eine subjektiv stärkere Reizwirkung bei einer Applikationstemperatur von  $50^{\circ}\text{C}$  gegenüber einer Temperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  entfaltet (207).

Für Reize von gleicher objektiver Intensität stellte MORIMURA signifikant unterschiedliche Schwellenwerte bei Änderung der Applikationstemperatur in Stufen von jeweils  $5^{\circ}\text{C}$  fest. Bei einer Temperatur von  $25-30^{\circ}\text{C}$  liegt die "minimale Erkennungsschwelle", bei höheren und niedrigeren Temperaturen ist die subjektive Reizintensität geringer. Die zuvor als rein zufällig angesehenen jahreszeitlichen Verschiedenheiten der Erkennungsschwellen lassen sich nach MORIMURA dadurch erklären (136).

Daß nicht nur die Temperatur, sondern auch der Feuchtigkeitsgehalt des applizierten Reizgasgemisches Ein-

fluß auf die Schwellenwerte hat, wurde zwar schon immer vermutet. Erst 1964 haben jedoch BOCCA und BATTISTON die Abhängigkeit der subjektiven Intensitätsänderungen vom Zusammenwirken beider Faktoren untersucht. Sie fanden (22):

1. Bei konstanter Feuchtigkeit nimmt die subjektive Geruchsintensität eines Reizgasgemisches mit zunehmender Temperatur ab.
2. Bei konstanter Temperatur nimmt die subjektive Geruchsintensität eines Reizgasgemisches mit zunehmender relativer Feuchtigkeit ab.

#### II.5: Mitbeteiligung anderer Sinne am Geruchserlebnis.

Die besonders im süddeutschen Raum häufig anzutreffende synonyme Verwendung von "Riechen" und "Schmecken" stellt nicht nur eine sprachliche Ungenauigkeit dar, sondern ist vielmehr in dem komplexen Erlebnisgeschehen beim Geruch begründet.

In der Nasenschleimhaut, auch in der Regio olfactoria (s. Abb. 1), finden sich Endigungen des Nervus trigeminus, die eine Mechano-, Thermo-, und Schmerzreception vermitteln können. Überwiegend auf der Oberseite des Gaumensegels, jedoch auch im übrigen Nasenrachenraum werden Endorgane des Geschmackssinnes gefunden, die für das "nasale Schmecken" verantwortlich sind. Nach HENNING ist dieses nasale Schmecken empfindlicher als das linguale (81).

Ähnlich fanden DISHOECK und VERSTEEG, daß das sogenannte "gustatorische Riechen" (d.h. das Riechen beim Ausatmen: "expiratory smelling") dem normalen Riechen (während des Einatmens: "inhalatory smelling") überlegen ist (37,38).

Wie viele der "mindestens 10.000" (78) vom Menschen unterscheidbaren Gerüche von sogenannten "reinen Riechstoffen" (177) (die nur auf den Olfaktorius wirken) herrühren, ist nicht entschieden und läßt sich zunächst auch nicht ent-

scheiden. Ob jemals eine exakte Einteilung der Riechstoffe in "reine" und "nicht reine" möglich ist, läßt die schon 1896 von KRAUSE (110) gemachte und später vielfach bestätigte Beobachtung bezweifeln: Bei Ausschaltung des Nervus trigeminus ist die Geruchsempfindlichkeit auch für "reine" Riechstoffe herabgesetzt. Irrendwie muß also doch der Nervus trigeminus die Geruchswahrnehmung beeinflussen. So fanden auch ELSBERG et al. (49), daß möglicherweise alle Riechstoffe eine Trigeminusreizung hervorrufen, wenn sie nur in genügend hoher Konzentration verabreicht werden. Ob das viel diskutierte Problem des "Geruchswandels" einer chemisch reinen Substanz (33,81,155,157,212 u.a.) in Abhängigkeit alleine von ihrer Konzentration durch verschieden starke Mitbeteiligung anderer Sinne beim Geruchserlebnis teilweise oder ganz erklärt werden kann, oder ob es doch einen echten Geruchswandel gibt, konnte bisher nicht entschieden werden.

Daß die von AMOORE et al. (9) aufgezeigten 7 Primärgerüche reinen Riechstoffen zugeordnet sein könnten, liegt nahe. Ein exakter Beweis hierfür kann wohl nur elektrophysiologisch erbracht werden: Ein reiner Riechstoff darf keine Aktionspotentiale in den Nervenfasern auslösen, die Nebenwirkungen von Riechstoffen vermitteln, sondern nur Aktionspotentiale in den Fasern des Olfactorius ergeben.

Die Mitbeteiligung anderer Sinne am Geruchserlebnis erklärt auch eine Beobachtung, die von MULLINS (139) und STUIVER (182) mitgeteilt wird. Sie fanden, daß beim monorhinen Einblasen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 6 l/min. bzw. von 200-300 cm<sup>3</sup>/sek. (also 12-18 l/min.) "unpleasant and distracting effects in the nasal mucosa" (139) bzw. "a strong sensation due to the pure air alone" (182) auftreten. Sie konkurrieren mit der Geruchssensation und bewirken eine Zunahme der Schwellenwerte. STUIVER

meint, daß diese Empfindungen entweder auf das Austrocknen des Riechepithels durch die injizierte Luft oder auf eine Erregung der "cutaneous receptors of the nostrils" zurückzuführen sei.

Große Verwirrung hat eine 1942 von ADRIAN (2) mitgeteilte Beobachtung gestiftet: Er konnte beim Igel alleine durch mechanische Reizung der Riechzellen vermittels der in die Nase eingeblasenen geruchsfreien Luft vom Bulbus olfactorius Aktionspotentiale ableiten. Durch spätere Versuche an Kaninchen und Katzen, bei denen ADRIAN gefilterte Luft und genau kontrollierte Geruchsreize verwendete, konnte er selbst eine solch rein mechanische Olfactoriuserregung widerlegen. Er konnte dabei auch zeigen, daß beim raschen Einblasen großer Luftmengen in die Nase eine Olfactoriuserregung durch riechendes, von den vorderen Nasenpartien herrührendes Material ausgelöst werden kann (8). Die zeitweilig gefährdete Eigenständigkeit des Geruchssinnes war damit gerettet.

## II.6: Adaptation - Readaptation. "Ermüdung".

### A) Allgemeines.

Allgemein gesprochen versteht man unter Adaptation das Phänomen, bei dem sich die Empfindlichkeit eines Sinnesystems bei wechselnder Reizintensität ändert: Wird ein Sinnesorgan einem Dauerreiz konstanter Stärke ausgesetzt, so nimmt seine psycho-physisch gemessene Empfindlichkeit allmählich bis zu einem konstanten Wert ab. Wird die Reizung beendet, so kehrt allmählich die frühere Empfindlichkeit des Sinnesorganes wieder. Für das Auge wurde das seit langem bekannte Phänomen der "Helladaptation" und "Dunkeladaptation" zuerst von RANKE seinem Wesen nach erkannt. "Auch im Bereich aller möglichen anderen Sinnesorgane fand man Adaptationserscheinungen der Empfindungen" (103).

Im Gegensatz zu den Sinnesorganen Auge und Ohr zeigt nun der menschliche Geruchssinn ein anderes Adaptationsverhalten: Während beim Auge und Ohr immer eine Empfindung bestehen bleibt, solange nur ein (anfänglich) überschwelliger Reiz einwirkt, kann die Adaptation beim Geruch ein solches Ausmaß annehmen, daß die Empfindung völlig verschwindet. Jedem ist dieses Phänomen bekannt: Betritt man einen Raum, in dem es stark riecht, so empfindet man zunächst ein starkes Geruchserlebnis; nach einiger Zeit ist die anfangs noch so starke Geruchsempfindung jedoch völlig verschwunden. Diese "Adaptation bis zum Auslösen der Empfindung" ist wohl der Grund dafür, daß beim Geruchssinn länger als bei anderen Sinnen "Ermüdung" (englisch: "fatigue") und "Adaptation" miteinander wechselt wurden und noch werden. Dabei ist längst bewiesen (u.a.6,152), daß auch beim Geruch eine Adaptation möglich ist, also ein "echter Anpassungsvorgang unter Erhaltung der Informationsbreite" (165), im Gegensatz zu einem "Verlust an Erregbarkeit" (104), also einer "Leistungsverminderung" (165) bei der Ermüdung. Eine so klare Unterscheidung von Adaptation und Ermüdung, wie sie vorallem von RANKE und KEIDEL für andere Sinne getroffen werden konnte, stößt beim Geruch bisher noch auf große Schwierigkeiten. Sie wird nur elektrophysiologisch möglich sein.

B) Kenntnisse über die Adaptation beim Geruchssinn.

Die beim Geruchssinn vorallem interessierenden Adaptationsprobleme sind:

1. Die Zeitdauer, die ein Geruchsreiz einwirken muß, damit es zu einem völligen Verschwinden der anfänglichen Geruchsempfindung kommt.
2. Der Adaptationszeitgang, d.h. die Abhängigkeit der adaptativen Schwellenerhöhung von der Einwirkungszeit des Geruchsreizes und von der Reizintensität.

3. Die Erholungs-, besser Readaptations-Zeit, d.h. die Zeit, die nach einer Adaptation bis zum Wiedererlangen der anfänglichen Empfindlichkeit vergeht.

Zahlreiche Versuche wurden schon sehr früh unternommen, um vorallem das unter 1. genannte Problem zu lösen (11,31,50,109,134,198,208,218 u.a.). Sie waren alle mit mehr oder weniger unzureichenden Mitteln durchgeführt worden. Erstmals hat STUIVER (182) exakte psychophysische Untersuchungen über die Adaptation und Readaptation des menschlichen Geruchssinnes bei natürlicher Atmung durchgeführt - allerdings nur für die beiden Riechstoffe d-Octanol und m-Xylen.

Die wichtigsten seiner Ergebnisse seien kurz in Form von Diagrammen wiedergegeben:

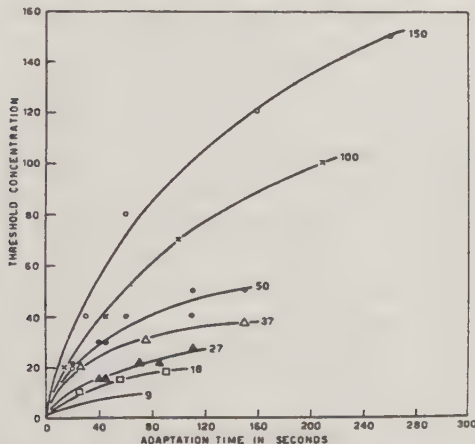


Abb.6: Der Schwellenanstieg für d-Octanol bei Adaptation an verschiedene Reizkonzentrationen (an den Kurven angeschrieben) in Abhängigkeit von der Adaptationszeit.

(Die Schwellen- und Adaptationskonzentrationen sind dabei - wie in den 2 folgenden Abbildungen - als Vielfaches des normalen Schwellenwertes angegeben).

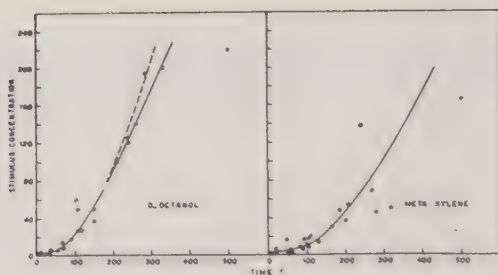


Abb.7: Die Adaptationskonzentration in Beziehung zu der bis zu einem Verschwinden der Geruchsempfindung notwendigen Adaptationszeit.

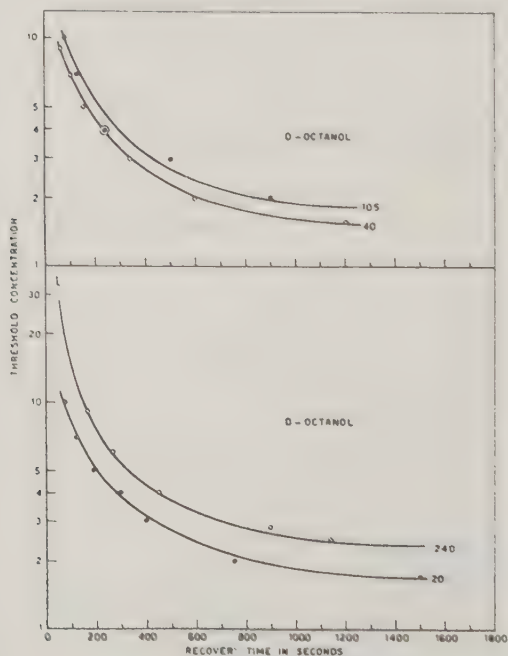


Abb.8: Die Readaptationszeit für verschiedene Adaptationszeiten (rechts an den Kurven angeschrieben) bei gleicher Adaptationskonzentration (obere Kurven 60-fache, untere Kurven 120-fache Normalschwelle).

### C) Ort der Adaptation.

OTTOSON (152) hat 1956 beim Frosch die "periphere Adaptation" in der Sinneszelle nachgewiesen, wohin sie von RANKE 1953 verlegt wurde. Daß sie beim Geruchssinn nicht einfach Folge einer maximalen Sättigung der Riechreceptoren ist, wie teilweise angenommen wurde und noch wird, geht schon daraus hervor, daß es nach dem adaptativen Verschwinden einer Geruchsempfindung dann sofort wieder zu einer Geruchswahrnehmung kommt, wenn ein Reiz verabreicht wird, dessen Intensität über der Adaptationskonzentration liegt (50,182).

HENNING schreibt bereits 1916, daß für die (von ihm pauschal "Ermüdung" genannte) Adaptation neben den Vorgängen am peripheren Sinnesapparat auch Aufmerksamkeitsschwankungen, sowie "andere zentralbedingte Faktoren" ebenso wichtig seien. Von einem Psychologen geäußert, ist dies fast eine Selbstverständlichkeit. ADRIAN hat dann 1951 eine Adaptation im Bulbus olfactorius des Kaninchens elektrophysiologisch nachgewiesen (6). Mit Sicherheit ist also wenigstens ein Teil der von HENNING geforderten "zentralbedingten Faktoren" physiologischer und nicht psychologischer Natur. Nachdem für das Ohr nachgewiesen ist, "daß zur Gesamtadaptation, wie sie im psycho-akustischen Versuch sichtbar wird, alle Hörbahnstationen beitragen" (104), ist es zumindest wahrscheinlich, daß auch beim Geruch "Zusatzadaptationsvorgänge in den einzelnen Synapsen ablaufen" (104).

#### II.7: "Reine Luft" - "Null-Reiz".

Eine absolut geruchsfreie Umgebung für Geruchsmessungen zu erzielen ist schon deshalb nicht möglich, weil ja letztlich alles riecht und ja auch jedes Lebewesen, also auch eine Versuchsperson einen Eigengeruch hat.

Das Problem, das "Fehlen eines Geruches" zu definieren (also dessen, was als "reine Luft" angesehen wird, in der die Versuchsperson atmen und der die Riechstoffe zugesetzt werden sollten), läßt sich also nur durch Übereinkunft lösen (so wie dies z.B. auch bei der Definition der Farbe "weiß" in der Colorimetrie geschah). Solange keine allgemein anerkannte Übereinkunft getroffen wurde, muß für jedes mitgeteilte Versuchsergebnis auch eine Angabe darüber gefordert werden, was als "Null-Reiz", als "reine Luft" benutzt wurde.

Eine weitere Forderung kommt hinzu: Die "reine Luft", der als "Null-Reiz" die Riechstoffe beigelegt werden, muß identisch sein mit der Luft, die die Versuchsperson zwischen den Reizdarbietungen atmet. Nur so ist nach einer gewissen Adaptationszeit eine per definitionem als geruchsfrei erklärte Umgebung und eine reine Luft zu erzielen.

Wie groß der Einfluß einer nicht "geruchsfreien" Umgebung auf die Messwerte ist, zeigen die auf Anregung von ZWAARDEMAKER von KOMURO in einer "Camera inodora" (einem durch UV-Bestrahlung desodorierten Glaskasten) durchgeführten Schwellenbestimmungen: Für zahlreiche Riechstoffe waren die Erkennungsschwellen um 25 % kleiner als bei der Bestimmung in normaler Laborluft.

## II.8: Schwellenwerte.

### A) Allgemeines über Riechschwellen.

Die Leistungen eines menschlichen Sinnes werden in der Sinnesphysiologie durch im psycho-physischen Versuch gemessene Schwellen charakterisiert. Nach KEIDEL unterscheidet die klassische Sinnesphysiologie sechs Arten von Schwellen:

1. Die Absolutschwelle. Sie ist charakterisiert durch den unter Optimalbedingungen gemessenen minimalen Energiebedarf zur Auslösung einer eben wahrnehmbaren

### Sinnesempfindung.

2. Die Intensitätsschwelle. Sie gibt für qualitativ charakterisierte Reize die minimalen Schwellenintensitäten an.
3. Die Unterschiedsschwelle (auch Amplituden- oder Intensitätsunterschiedsschwelle). Sie gibt an, um wieviel zwei qualitativ gleiche Reize sich quantitativ unterscheiden müssen, damit sie zu unterscheidbaren Empfindungen führen. Für fast alle Sinnesmodalitäten beträgt die Unterschiedsschwelle etwa 10 %.
4. Die Ortsschwelle (oder Frequenz-Unterschiedsschwelle). Sie gibt an, um wieviel sich zwei qualitativ verschiedene Reize voneinander unterscheiden müssen, um zu unterscheidbaren Empfindungen zu führen.
5. Die Zeitschwelle. Sie gibt unter anderem die Zeit an, die bis zur Ausbildung der vollen Empfindungsstärke nötig ist.
6. Die Raumschwelle. Sie gibt an, wieweit zwei Punkte voneinander entfernt sein müssen, damit zwei von ihnen ausgehende Reize getrennt wahrgenommen werden.

Für den Geruchssinn kann festgestellt werden:

1. Solange für den Geruchssinn der adäquate Reiz nicht bekannt ist und also auch nicht energetisch charakterisiert werden kann, ist die Bestimmung einer Ab-solutschwelle beim Riechen nicht möglich. Nimmt man - wie STUIVER (182) es tat - als energetische Ersatz-Charakterisierung des adäquaten Reizes einfach die Anzahl der Riechmoleküle, so läßt sich überschlagsweise errechnen, daß für die stark riechenden Meraptane höchstens 9, wahrscheinlich jedoch nur 1 Molekül pro Sinneszelle und die gleichzeitige Erregung von wenigstens 40 Rezeptoren notwendig ist, damit eine eben wahrnehmbare Geruchsempfindung entsteht.

2. Die Bestimmung von Intensitätsschwellen ist beim Geruchssinn möglich. Als Maß der Intensität eines Geruchsreizes kann die Anzahl der Riechstoffmoleküle pro Kubikzentimeter und Zeiteinheit eingeatmeter Riechlufte angesehen werden. Sie ist wahrscheinlich zwar nicht identisch mit der Intensität der Geruchsreize, steht aber doch mit großer Sicherheit in direktem, wohl sogar linearem Verhältnis zu ihr.

Ein großer Unterschied gegenüber anderen menschlichen Sinnen liegt nun jedoch darin, daß für die vielfältigen Gerüche noch keinerlei qualitativer Zusammenhang gefunden wurde (wie er z.B. für die verschiedenen Farben in den Wellenlängen, für die verschiedenen Töne in der Frequenz bekannt ist). Diese diskontinuierliche Qualitätscharakteristik (eben die Tatsache, daß jeder Riechstoff einen qualitativ anderen Geruch hat) hat zur Folge, daß es für den Geruch keine Intensitätsschwellenkurve (entsprechend etwa der Hörschwellenkurve) geben kann. Intensitätsschwellen lassen sich nur für einzelne Riechstoffe getrennt und ohne qualitative Beziehung zueinander aufstellen.

Eine weitere Besonderheit des menschlichen Geruchssinn wird durch die Schilderung PASSY's klar:

"Läßt man den Reiz allmählich über Null hinaus anwachsen, so bemerkt man, daß die Versuchsperson zunächst nichts riecht, dann, daß sie einen vagen und unbestimmten Geruch bemerkt, den sie nicht benennen kann, endlich, daß sie den charakteristischen Geruch wahrnimmt" (156). Seit PASSY (1896) hat man daher die beim Menschen ermittelten Intensitätsschwellen für den Geruch in zwei Stufen voneinander getrennt:

- a) Das "minimum simple" (157), oder "minimum de sensation" (195), oder die "allgemeine Schwelle"

(149,168), oder "Empfindungsschwelle" (81) - das der "Reizschwelle" ZWAARDEMAKER's, dem "minimum perceptibile" entspricht.

- b) Das "minimum qualitativ" (157) oder "minimum de perception" (195) oder die "spezielle Schwelle" (149,168) oder die "Wahrnehmungsschwelle" (81) bzw. die "Erkennungsschwelle" ZWAARDEMAKER's wobei auch die Qualität des betreffenden Riechstoffes erkannt wird.

Die Angabe von Empfindungsschwellen erscheint nicht sinnvoll. Wenn man heutzutage von einer "Geruchsschwelle" spricht, so ist immer die Erkennungsschwelle gemeint.

Nun gibt es wie bei anderen Sinnesorganen auch beim Geruch keine scharfe Grenze zwischen "nichts riechen" und "eine bestimmte Substanz riechen". Nach dem Vorschlag von STUIVER (182) und MONCRIEFF (135) definiert man deshalb am besten als individuelle Geruchsschwelle diejenige Geruchskonzentration, bei der in 50 % der Versuche positive Antworten in dem Sinn gegeben werden, daß der Geruch als solcher erkannt wird.

Von der Angabe einer "normalen" Erkennungsschwelle für einen bestimmten Riechstoff wird besser Abstand genommen. Die bei verschiedenen Versuchspersonen ermittelten Schwellenwerte streuen nämlich so stark, daß die Berechnung von Mittelwerten nicht sinnvoll ist. Besser wird, nach einem Vorschlag von MITSUMOTO (128) in einem Massenversuch für jede Riechsubstanz eine Häufigkeitskurve der ermittelten Schwellenwerte aufgestellt. Man trägt dazu auf der Abszisse die Schwellenkonzentration, auf der Ordinate die Anzahl der ermittelten Versuchspersonen auf. Der Gipfel dieser Häufigkeitskurve, also die für die meisten Versuchspersonen gültige Schwellenkonzen-

tration, kann als "durchschnittliche Schwellenkonzentration" angesehen werden.

Dieses Verfahren ist identisch mit dem, das zur internationalen Festlegung der Hörschwelle auf  $2 \cdot 10^{-4}$  dyn/cm<sup>2</sup> für eine Frequenz von 1000 Hz führte: In einem Massenversuch bei normalhörenden jungen Menschen wurde dieser Wert als der häufigste ermittelt. Die prozentuale Abweichung der Schwellenkonzentration einer einzelnen Versuchsperson von der durchschnittlichen Schwellenkonzentration ergibt dann ein Maß für die individuelle "Riechschärfe" oder Geruchsschärfe", wie VINTSCHGAU (199) die Empfindlichkeit des Riechorganes für einen bestimmten Geruch bezeichnete.

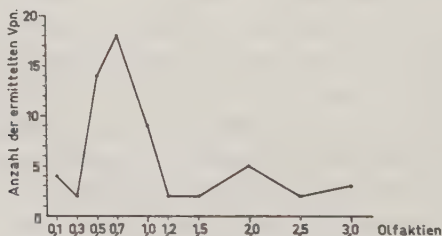


Abb. 9: Häufigkeitskurve der Riechschwellen für Kautschuk  
(nach Werten von ZWAARDEMAKER gezeichnet)

- Die Intensitätsunterschiedsschwelle beim Geruchssinn wurde verschiedentlich zu bestimmen versucht (63,84, 182,194,202,209). Die Ergebnisse differieren stark. GAMBLE gibt 30-35 %, HERMANIDES 24-72 % als relative Unterschiedsschwelle an. Beide Autoren, wie auch TOULOUSE und VASCHIDE und ZIGLER und HOLWAY sahen in ihren Versuchen das WEBER'sche Gesetz "im großen und ganzen" bestätigt. Es muß jedoch kritisiert werden, daß die erwähnten Autoren entweder gleichzeitig oder kurz hintereinander zwei verschieden starke Reize verabreicht haben. Dagegen geht man zur Bestimmung

der Unterschiedsschwelle für andere Sinne von einem Dauerreiz aus, an den das betreffende Sinnesorgan adaptiert ist.

NEUHAUS hat als einziger bisher die relativen Unterschiedsschwellen für Buttersäure über einen großen Konzentrationsbereich hinweg untersucht (145). Er fand dabei beim Menschen wie beim Hund keine Konstanz von  $\Delta I/I$ . Bei beiden ist in der Nähe der Wahrnehmungsschwelle die Unterscheidung schlechter als bei etwas höheren Konzentrationen. Nach einem Minimum bei einer Reizintensität von etwa dem 2 - 3-fachen der Wahrnehmungsschwelle steigt die relative Unterschiedsschwelle langsam wieder an.

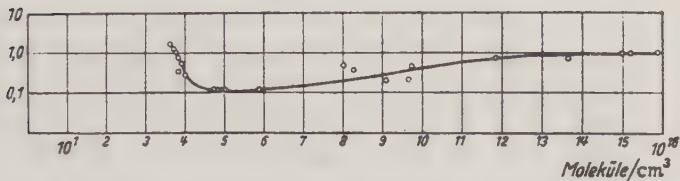


Abb. 10: Die relativen Unterschiedsschwellen des Hundes für Buttersäure. Ordinate:  $\log \Delta I/I$ , Abszisse:  $\log J$ . (Nach NEUHAUS (145)).

Nach Adaptation verschlechtert sich die Unterscheidungsfähigkeit beim Menschen ein wenig. Die von NEUHAUS ermittelten Werte stehen im Einklang mit den von BACKMAN (12) bei Adaptation ermittelten Wahrnehmungsschwellen für Buttersäure:  $2,36 \cdot 10^{13}$  Mol/cm<sup>3</sup> bei Adaptation an  $1,18 \cdot 10^{13}$  Mol/cm<sup>3</sup>, woraus sich  $\Delta I/I = 0,67$  ergibt. Im Vergleich zu der für andere Sinnesmodalitäten zu 10 % bestimmten Unterschiedsschwelle, ist die von NEUHAUS für den menschlichen Geruchssinn bei Prüfung mit Buttersäure mit günstigstenfalls 35 % angegebene als schlecht zu betrachten.

4. Eine Ortsschwelle läßt sich für den Geruchssinn wegen des Fehlens einer qualitativen Beziehung der Gerüche untereinander nicht bestimmen.
5. Die Zeitschwelle für den Geruchssinn wurde schon 1883 von MOLDENHAUER (129) als "Reaktionszeit" bestimmt. Seine und die später von BEAUNIS (18) und ZWAARDEMAKER (212) bestimmten Werte für die verschiedenen Riechstoffe liegen zwischen 0,2 und 1,0 Sekunden. Diese Werte sind also vergleichbar mit jenen, die für die Vibrationsreception (1,2 Sekunden) und für die Druckempfindung (1 Sekunde) bestimmt wurden.

Messungen über den Gang der Zeitschwelle beim Geruchssinn existieren nicht. Da große Schwierigkeiten bestehen, den eigentlichen Reizmoment bei den vielen Variablen der Reizapplikation zuverlässig zu bestimmen und keine exakten Angaben über das Anklingen der Geruchsintensität gemacht werden können, dürfte der Gang der Zeitschwelle beim Geruchssinn auch psychophysisch gar nicht zu bestimmen sein.

6. Untersuchungen über die Raumschwelle sind beim menschlichen Geruchssinn nicht durchgeführt worden. Eine so exakte Orientierung im Raum, wie sie der optische und akustische Sinn erlaubt, ist von vornherein nicht zu erwarten. Sowohl beim Sehen als auch beim Hören kommt es ja bei der Raumorientierung wesentlich auf den Informationsunterschied von linkem und rechtem Sinnesorgan an. Ein solcher Informationsunterschied kann aber beim Geruch - schon wegen der anatomischen Lage - nicht in diesem Maße wie beim Sehen oder Hören ausgeprägt sein.

Die Bestimmung eines "Riechfeldes" hat ZWAARDEMAKER versucht (212). Er benützte dazu die Tat-

sache, daß Riechstoffe bei einer bestimmten Kopfstellung nur dann wahrgenommen werden, wenn die sie herantragende Luft am vorderen Abschnitt der Nasenöffnungen eintritt. Allein schon die Abhängigkeit der Luftbewegungen von unkontrollierbaren äußeren Einflüssen läßt einen solchen Versuch jedoch von vornherein wenig aussichtsreich erscheinen.

B) Faktoren, die Einfluß auf die Riechschwellen haben.

Neben den für die objektive und die subjektive Reizintensität bedeutungsvollen "äußeren" Faktoren (s.o.) sind eine ganze Reihe "innerer" Faktoren aufgezeigt worden, die Einfluß auf die Riechschwellen haben. Einige sollen kurz angeführt sein.

Der Einfluß des Lebensalters auf die Riechschwellen wurde häufig untersucht (23, 65, 93, 125, 127, 136, 193, 211 u.a.). Man ist sich heute darüber einig, daß das Riechvermögen mit zunehmendem Alter abnimmt. KRIMPO-TIĆ schlägt vor (Ref.von (23) im Zbl.Hals-, Nas.-u. Ohrenheilk. 82 (1964)188), für diese Alters-Hyposmie die Bezeichnung Presbyosmie zu benützen. Er fand nämlich bei Schädeluntersuchungen im Bereich der Lamina cribrosa eine Atrophie der Riechnerven, die - wie bei der Presbyakusis - durch eine progressive Knochenablagerung bedingt sein soll.

Ob die Geruchsschärfe vom Geschlecht (13, 14, 71, 81, 123, 124, 140, 151, 191, 192 u.a.), von der Rasse (71, 123 u.a.), oder ob es sich bei den teils festgestellten Unterschieden nicht nur um psychologisch erklärbare Phänomene handelt (Aufmerksamkeitsschwankungen, Kennen oder Nichtkennen des geprüften Geruches, Erfahrung, Übung etc.) ist noch nicht geklärt.

Gesichert scheinen Schwellenschwankungen bei der Frau in Abhängigkeit vom Menstruationszyklus zu sein (32, 107, 113, 114, 173 u.a.): Während der Menstruation soll es zu einem Schwellenanstieg für verschiedene Riechstoffe kommen. Ob es in der Schwangerschaft zu Änderungen der Geruchsschwellen kommt, ist noch umstritten (171, 211 u.a.).

Einen Zusammenhang zwischen Riechschwelle und Nahrungsaufnahme fanden unter anderem GOETZL et al. (67, 68). JANOWITZ und GROSSMANN (97) sowie ZILSTORFF-PEDERSEN (210) konnten diese Befunde jedoch nicht bestätigen. ADRIAN (3) fand, daß bei Pflanzenfressern die elektrische Erregungsaktivität auf vegetabilische Gerüche stark, auf animalische Gerüche schwach ist. Entsprechend konnte NEUHAUS (143) beim Hund höhere Schwellen für vegetabilische als für animalische Gerüche nachweisen. Ob diese Beobachtung wirklich auf einen Zusammenhang zwischen Riechschwelle und Ernährung hinweisen, wie NEUHAUS meint (148), muß bezweifelt werden. Beim Tier ist ja das Gesamtverhalten (Nahrungssuche, Erkennen der Art- und Geschlechtsgegnossen usw.) vorwiegend an die für jede Tierart spezifische "Riechwelt" gebunden.

NEUHAUS (148) konnte zeigen, daß die Riechschwelle beim Hund nach oraler Gabe eines Duftstoffes zunächst stark ansteigt und später unter die "Normalschwelle" absinkt. Er erklärt dies mit folgender Hypothese: Der oral verabreichte Duftstoff soll teilweise auf dem Blutweg in das Riechepithel gelangen und dort zunächst die Erregbarkeit der Rezeptoren für den entsprechenden Duft vermindern. Durch die Aktivierung abbauender Fermente soll dann der Duftstoff aus dem Riechepithel entfernt und dieses für eine gewisse Zeit spezifisch sensibilisiert werden. Beweise für diese interessante Hypothese konnten noch nicht erbracht werden.

Der Einfluß von Pharmaka (15,66 u.a.) und der olfacto-toxischer Stoffe (29,91 u.a.) auf die Riechfunktion und die Riechschwellen wird in letzter Zeit gemäß der zunehmenden praktischen Bedeutung von Geruchsproblemen immer stärker beachtet.

Die angeführten Untersuchungen und Beobachtungen zeigen, daß die Funktion und die Leistungen des menschlichen Geruchssinnes in mannigfacher Weise mit dem psychologischen und physiologischen Zustand des Gesamtorganismus verknüpft sind.

Als erste Forderung für eine exakte Geruchsmessung verlangen wir deshalb ein "Arbeiten unter gleichen psychologischen und physiologischen Bedingungen". Da dies jedoch in der Praxis bei den vielfältigen Verknüpfungen und Verflechtungen fast unmöglich ist, müssen stattdessen möglichst exakte Angaben über die psychologische und physiologische Situation, in der die mitgeteilten Messergebnisse gewonnen wurden, gefordert werden.

Kapitel III: Forderungen die für eine exakte Prüfung der Leistungen des Geruchssinnes erfüllt sein müssen.

III.1: Qualitative Geruchsprüfung (Prüfung auf Anosmie) - "Intravenöses Riechen" - Simulationsproben.

Soll lediglich festgestellt werden, ob ein Proband total oder partiell anosmisch ist, so genügt es, ihm zur Prüfung hohe Konzentrationen von Geruchsstoffen darzubieten. Da es ja nur um die Frage geht, "ob" und höchstensfalls "was" gerochen wird, braucht man auf die Konzentration, die Reinheit, eventuelle Mischung usw. der Riechstoffe keine Rücksicht zu nehmen. Gradmesser der Prüfung bleibt immer, ob eine "Normalperson" die dargebotenen Gerüche wahrnehmen und eventuell erkennen kann.

Welche Geruchsstoffe man zur qualitativen Prüfung verwenden soll war von jeher umstritten. So wie DISHOECK erst jüngst empfahl (38), die 7 Primärgerüche von AMOORE et al. als "basic stimuli" zu verwenden, wechselten die Angaben über Zahl und Art der Prüfergerüche mit der jeweiligen, als gültig erachteten Einteilung der Gerüche in "Geruchsklassen". Daneben bestimmte die Forderung nach "lebensnahen Riechstoffen" die Zusammensetzung der "Riechprobenbestecke" (105,118,159 u.a.).

Die Riechproben werden meist in Glasfläschchen aufbewahrt, die mit einem Stopfen verschlossen sind. Bei der Prüfung wird der Stopfen abgenommen und der Proband angewiesen, an der Flasche zu riechen.

Um eine Verunreinigung der Riechstoffe, die bei diesem Vorgehen ja sehr leicht möglich ist, zu verhindern und die Prüfung seiner in Anlehnung an die "40 - 50 Prinzipalempfindungen des Geruchs" (177) ausgewählten 49 "reinen Riechstoffe" zu erleichtern, ersann v.SKRAMLIK eine besondere Vorrichtung: Die Riechstoffe befinden sich in 49 Flaschen aus lichtschützendem braunem Glas, die zusammen mit einer leeren Vexierflasche auf einer drehbaren Scheibe angeordnet sind. Durch Betätigung der Verschlußhähne eines Röhrensystems kann jeder Riechflasche einzeln die Pressluft eines Blasebalges zugeleitet und aus ihr durch die Riechöffnung eines Schirmbrettes (das die gesamte Vorrichtung verbirgt) an die Nase der Versuchsperson weitergeleitet werden. Der Versuchsleiter versorgt die Rohrhähne und die Drehscheibe, die unwissentlich geprüfte Versuchsperson selber den Blasebalg, sodaß sie die Stärke der Luftströmung geeignet modifizieren kann.

Unter den qualitativen Prüfmethode n ist die von BÖRNSTEIN 1928 angegebene "Geruchsleiter" insofern interessant, als in ihr 12 Riechstoffe derart in Stufen angeordnet sind, daß die "Geruchsstärke" von der 1. bis zur 5. Stufe zunimmt. Um eine größere Auswahl zu haben wurden jeweils mehrere Vertreter einer Stufe ausgewählt. Außerdem gehören zur "Geruchsleiter" noch 4 Riechstoffe, von denen 2 eine Trigeminuswirkung haben und 2 gleichzeitig auch Geschmacksstoffe sind.

Zur klinischen Geruchsprüfung, zur Entlarvung von Simulanten und Aggravanten und z.B. auch zur Lokalisation von Hirntumoren wurde und wird auch heute noch die "BÖRNSTEIN'sche Geruchsleiter" häufig angewandt. Sie hat - in der ursprünglichen Fassung - folgende Zusammensetzung (24):

A) Riechstoffe (im engeren Sinn):

Stufe I: 1.Wachs 2.Kernseife

Stufe II: 3.Aqua rosae (Rosenwasser) 4.Heliotrop

Stufe III: 5.Aqua amygdalar.amar. (Bittermandelwasser)

6.Terpentin 7.Kampferspiritus

Stufe IV: 8.Ol.lavendul. (Lavendelöl) 9.Amyl.aceticum  
10.Ol.rusci 11.Anis

Stufe V :12.Schwefelwasserstoff bzw. Schwefelammonium

B) Riechstoffe mit Tastkomponente:

1. Menthol ("kühl") 2. Ammoniak ("stechend")

C) Riechstoffe mit Geschmackskomponente:

1. Chloroform ("süß") 2. Pyridin ("bitter").

Die BÖRNSTEIN'sche Geruchsleiter ist häufig variiert worden (90,141 u.a.). Letzten Endes gab sie die Grundlage für praktisch alle "Geruchskästen" ab, mit denen die klinische Geruchsprüfung durchgeführt wird.

Das Problem des "Intravenösen Riechens".

Bei der intravenösen Riechprobe wird ein Riechstoff (häufig Kampfer) intravenös injiziert und eine Angabe des Probanden darüber verlangt, ob er etwas riecht.

Lange Zeit hat man angenommen, daß eine Erregung der Riechrezeptoren direkt durch die über den Blutkreislauf ins Riechepithel gebrachten Riechstoffmoleküle möglich sei. Man glaubte, mit der intravenösen Riechprobe einen "Rinnetest für den Geruch" gefunden zu haben, der eine Unterscheidung von Empfindungs- und Leitungsstörungen beim Geruch und von "perceptiver" und "konduktiver" Anosmie ermögliche. DISHOECK und VERSTEEG (37) haben dann 1957 nachgewiesen, daß es sich bei der i.v.-Probe um eine Prüfung des gustatorischen Riechens handelt (75), daß also der injizierte Riechstoff über die Lungen ausgeschieden wird und bei der Ausatmung zum Riechepithel gelangt. Sie konnten damit die schon 1934 von LINDENOV mitgeteilte Beobachtung bestätigen, daß auch normal riechende Versuchspersonen beim intravenösen oder intramukösen Verabreichen von Riechstoffen dann nichts riechen, wenn sie den Atem anhalten oder nur durch den Mund atmen (116,117). Die 1959 von BRUNETTI (26) veröffentlichten Versuche, wonach er

durch "diapneumische" Verabreichung von Riechstoffen bei Laryngektomierten in 80 % seiner Fälle eine Geruchswahrnehmung fand, scheinen dem erneut zu widersprechen. Alleine: 1959 konnte ICHIHARA (94) nach intravenöser Verabreichung von Vitamin B<sub>1</sub> bei Laryngektomierten eine starke Anreicherung im Speichel finden. Er konnte zeigen, daß eine Geruchsempfindung nur dann auftrat, wenn Luft durch den Mund eingeblasen wurde und durch die Nase austrat - nicht dagegen bei umgekehrtem Luftweg. Damit ist bewiesen, daß die Geruchswahrnehmung durch vom Speichel an die Luft abgegebene Duftstoffmoleküle "gustatorisch" erfolgte. Auch die von BRUNETTI beobachteten Geruchswahrnehmungen bei Laryngektomierten können also vom Speichel aus durch Luftbewegungen in Mund und Nase (beim Kauen, beim Schlucken oder beim Gebrauch der Oesophagusprache (106)) verursacht sein.

1961 haben TEATINI und PINCINI nochmals gezeigt, daß eine Geruchsempfindung bei intravenöser Applikation von Riechstoffen nur über die normale Reizung der Chemoreceptoren zustande kommen kann (188).

1962 haben dann BARTALENA und ROLEO eine "zentrale hämatogene Geruchsempfindung" (MARCO-CLEMENTE) bzw. eine "generelle hämatogene Geruchsempfindung" (SEMERIA) endgültig und beweiskräftig widerlegt. Sie haben einer Reihe von Versuchspersonen zunächst Riechstoffe intravenös verabreicht. Im gleichzeitig abgeleiteten EEG erhielten sie dieselben Veränderungen, wie bei der Reizverabreichung auf natürlichem Weg. Wurden den Versuchspersonen die Nase zuvor sorgfältig tamponiert oder Laryngektomierten Riechstoffe i.v. verabreicht, so konnten keine EEG-Veränderungen beobachtet werden. BARTALENA und ROLEO haben mit dieser eleganten Methode zugleich als erste eine objektive Olfaktometrie beim Menschen mit Hilfe des EEG durchgeführt.

Die Diskussion um das intravenöse Riechen kann damit als abgeschlossen gelten. Nichts zwingt zu der Annahme einer direkten Einwirkung von intravenös verabreichten Riechstoffen auf die Geruchsreceptoren oder gar auf die zentralen Riechregionen; nichts spricht auch für die etwaige Annahme, daß Riechreceptoren außerhalb der Regio olfactoria (etwa in der Trachealschleimhaut) vorkommen. Alles spricht dafür, daß es sich tatsächlich beim "hämatogenen Riechen" um eine gustatorische Riechprüfung handelt.

Als Simulationsprobe kommt der intravenösen Riechprüfung noch eine gewisse Bedeutung zu.

Nach dem Vorschlag von GÜTTICH (74,200) können bei Simulationsverdacht auch Geruchsstoffe als Geschmack larviert verabreicht werden. Es eignen sich dazu Vanille, Zimt, Pfefferminz, Bittermandel und die Liköressenzen "Kakao mit Nuß", "Apricot", "Kirsch mit Rum", "Halb und Halb".

### III.2: Quantitative Geruchsprüfung (Geruchsmessung)

Soll eine Geruchsmessung mit einem in Maß und Zahl festgestellten Ergebnis über die Leistungen des menschlichen Geruchssinnes nicht von vorneherein nur eine Pseudomessung sein, so muß sie eine Reihe von Forderungen erfüllen:

- A) Der verabreichte Reiz muß qualitativ eindeutig charakterisiert sein.
- a) Solange keine genaue Abgrenzung erfolgt ist zwischen "reinen Riechstoffen" (die nur auf den Olfactorius wirken) und solchen Riechstoffen, die gleichzeitig eine Trigeminiwirkung oder eine gustatorische Wirkung entfalten, muß die Forderung aufgestellt werden, zur Geruchsmessung nur solche Riechstoffe zu verwenden, die in den angewandten Konzentrationen

keine - oder doch keine psychophysisch merkbaren - Nebenwirkungen haben. Wegen des seit langem bekannten und umstrittenen Phänomens des "Geruchswechsels" (auch "Geruchsumschlag" genannt) eines Riechstoffes in Abhängigkeit von seiner Konzentration, empfiehlt es sich, solche Stoffe, für die ein Geruchswechsel angenommen wird, (z.B. Jonon, Skatol u.a.), zunächst von der Verwendung zur Geruchsmessung auszuschließen.

- b) Die zur Geruchsmessung verwendeten Riechstoffe müssen chemisch rein sein.

Die große Bedeutung dieser Forderung wird klar, wenn wir uns einen Riechstoff denken, dessen Wahrnehmungsschwelle bei  $10^9$  Molekülen/cm<sup>3</sup> liegt und der zu nur 1 % mit einem anderen Riechstoff verunreinigt ist, dessen Schwelle bei  $10^7$  Molekülen/cm<sup>3</sup> liegt. In dem "Riechstoffgemisch" liegen dann beide Anteile in der Schwellenkonzentration vor. So unübersichtliche und ungeklärte Probleme wie "Geruchsüberdeckung" ("masking phenomenon"), "Geruchskompensation", "cross-adaptation" usw. können dann auftreten und die Messergebnisse verfälschen.

- c) Die chemisch reinen "reinen Riechstoffe" müssen zudem chemisch träge, chemisch stabil sein.

Alle diejenigen Stoffe die zwar die beiden vorangehenden Forderungen erfüllen, in der Mischluft sich jedoch chemisch verändern, z.B. durch Oxydoreduktion, müssen als ungeeignet angesehen werden. STUIVER versuchte diesem Problem dadurch aus dem Wege zu gehen, daß er in seinem Olfaktometer weitgehend reinen Stickstoff (der ja nicht riecht) als Mischgas benutzte und erst kurz vor der Reizapplikation dem mit Riechstoff gesättigten Stickstoffstrom "reine Luft" hinzufügte. Eine mögliche Oxydoreduktion und damit eine Veränderung des Riechstoffes

wird so weitgehend verhindert. Ob durch diese Stickstoffanreicherung der "Riechlufte" nicht allerdings neue Probleme auftauchen, ist nicht untersucht worden. Es wurden bisher überhaupt noch keine Untersuchungen darüber angestellt, ob ein bestimmter Riechstoff in verschiedenen Verdünnungsgasen auch denselben Geruch und bei gleicher Konzentration dieselbe Geruchsintensität hat. Da qualitative oder quantitative Änderungen in Abhängigkeit von dem Mischgas durchaus denkbar sind, erscheint es empfehlenswerter, statt der Benützung von Stickstoff als Mischgas nur chemisch träge, stabile Riechstoffe zur Geruchsmessung auszuwählen.

- d) Von den nach den vorgenannten Forderungen ausgewählten Riechstoffen muß weiterhin verlangt werden, daß sie keine toxische Wirkung auf die Riechrezeptoren ausüben. Abgesehen von dem möglichen Schaden am Geruchssinn, den eine Versuchsperson durch die Verwendung olfakto-toxischer Riechstoffe erleiden könnte, wissen wir aus Selbstbeobachtungen von ROLLETT (169), daß gewisse Riechstoffe offensichtlich wenigstens temporär die Wahrnehmungsschwelle für eine Reihe anderer Stoffe erhöhen, ja daß sie eine temporäre totale Anosmie verursachen können (wie bei ROLLETT, wo es sich um eine alkoholische Lösung von Gymnemasäure handelte).
- B) Der verabreichte Reiz muß quantitativ eindeutig charakterisiert sein.  
Darin stecken zwei Forderungen:
  - a) Quantitativ eindeutig bestimmte Riechstoffkonzentrationen müssen in beliebiger Menge und über beliebige Zeiten hinweg durch entsprechende Apparaturen mit ausreichender Konstanz herzustellen sein.

- b) Durch entsprechende Einrichtungen für die Reizapplikation muß dafür gesorgt werden, daß zu jedem Zeitpunkt der Reizdauer eine gleichbleibende Anzahl von Riechmolekülen das Riechepithel erreicht.

Während das Problem der apparativen Reizherstellung als gelöst angesehen werden kann (s.Kap.IV), ist die unter b) genannte Forderung, wenn überhaupt, nur sehr schwierig zu erfüllen. Unzweifelhaft dem Ziel am nächsten kommt man, wenn man die Reizgemische "einbläst". Die gegen die Injektionsmethode vorgebrachte Kritik schränkt ihren Wert für eine Geruchsmessung beim Menschen jedoch erheblich ein.

Die Angabe der Reizquantität kann je nach dem erstrebten Ziel der Geruchsmessung erfolgen in

1. relativen, willkürlich gewählten Maßeinheiten (z.B. "Olfactie" bei ZWAARDEMAKER oder "olfaktorischer Koeffizient" bei ELSBERG)
2. absoluten Maßeinheiten (z.B. "Anzahl der Riechmoleküle/cm<sup>3</sup>" oder "Gramm Riechstoff pro Kubikzentimeter Einatemungsluft").

Einen Vergleich der Schwellenwerte ein und desselben Riechstoffes bei verschiedenen Versuchspersonen oder bei derselben Versuchsperson zu verschiedenen Zeiten nannte ZWAARDEMAKER "Olfaktometrie" - den verschiedener Riechstoffe bei derselben Versuchsperson unter gleichbleibenden Bedingungen "Odorimetrie".

- C) Neben den genannten Forderungen müssen für eine leistungsfähige Geruchsmessung weitere apparative Bedingungen erfüllt sein.

- a) Es muß die Möglichkeit zur Verabreichung eines "Nullreizes" gegeben sein, um die ja immer subjektiven Angaben der Versuchsperson kontrollieren zu können.

- b) Der Apparat zur Reizherstellung muß in rascher zeitlicher Folge verschieden starke Duftkonzentrationen liefern können.
- c) Es muß die Möglichkeit zur mono- und dirhinen Reizapplikation bestehen, da ja die Geruchsschwellen bei mono- und dirhiner Applikation verschieden sein sollen.
- d) Das zum Bau von Apparaten zur Reizherstellung und Reizverabreichung benutzte Material darf keinen Eigengeruch haben. Als am zweckmäßigsten erwies sich Glas, das ja auch leicht gereinigt werden kann. Auch die zur Abdichtung von eventuellen Glashähnen verwendeten Mittel und die zur Erzeugung von Luftströmen verwendeten Motoren, Ventilatoren usw. müssen geruchlos sein.
- e) Die Adsorption des Duftstoffes an den inneren Oberflächen der Apparaturen zur Reizherstellung und Reizapplikation muß berücksichtigt werden.

Für jeden verwendeten Duftstoff müssen vor den Messungen entsprechende Untersuchungen angestellt werden. Bisher hat dies nur STUIVER getan. Er fand z.B. für 1:4-xylen-2-ol, daß die von seinem Apparat gelieferten Konzentrationen (Moleküle/cm<sup>3</sup>) innerhalb der ersten Stunden auf das 10-fache des Ausgangswertes anwachsen, um erst dann konstant zu bleiben. Bei m-xylen dagegen stellte sich praktisch sofort eine gleichbleibende Konzentration ein. Für stark auf Glasoberflächen adhärierende Riechstoffe erreichte STUIVER eine "Absättigung" der Glasoberflächen dadurch, daß er einige Stunden (!) vor Beginn der Messungen Riechlufte von etwa der Konzentration durch den Apparat strömen ließ, wie er sie nachher bei den Versuchen benutzte. Es stellte sich so ein Gleichgewicht zwischen der Anzahl der adhärierenden und der Anzahl der von der Oberfläche wieder freigegebenen Moleküle ein.

Um den verfälschenden Einfluß der Adsorption im Apparat so gering wie möglich zu halten, müssen die adsorptionsfähigen Oberflächen so klein wie möglich gehalten werden.

- f) Um den möglicherweise großen Einfluß von Verunreini-

gungen (s.o.) auszuschalten, muß der Apparat so konstruiert sein, daß bei einem Wechsel der verwendeten Duftstoffe eine gründliche Reinigung leicht möglich ist. Nach der Reinigung muß eine längere Durchströmung mit dem "Nullreiz" abgeschlossen werden, um auch die letzten Verunreinigungen zu beseitigen.

- g) Es müssen Einrichtungen vorhanden sein zur Bestimmung und Regulierung von Volumen, Druck, Temperatur und Feuchtigkeit des verabreichten Reizgasgemisches. Die Regulierung der einzelnen Größen muß unabhängig voneinander möglich sein.

Die genannten apparativen Bedingungen sind zum Teil nur unter großem technischem und finanziellem Aufwand zu verwirklichen.

Kapitel IV: Kritische Darstellung der Methoden zur Herstellung quantitativ charakterisierter Reize.

Die sehr zahlreichen Methoden zur kontrollierten Reizherstellung lassen sich - mehr oder weniger zwanglos - in vier Gruppen einteilen:

IV.1: Methoden, die auf einer Gewichtsbestimmung der Riechstoffe und auf der Herstellung von Verdünnungsreihen beruhen.

IV.2: Methoden, die auf der Verdunstung von Riechstoffen in Abhängigkeit von der freien Oberfläche oder auf der Entfernung von einer Riechstoffquelle beruhen.

IV.3: Methoden, die die Reizintensität mit Hilfe des Dampfdruckes der Riechstoffe messen.

IV.4: Methoden, die auf der Mischung von Luftströmen mit und ohne Riechstoffgehalt beruhen.

Von diesen vier Gruppen sollen im folgenden jeweils die irgendwie interessanten oder wichtigen Methoden genauer geschildert, die übrigen - die methodisch nichts Neues bringen - nur kurz erwähnt werden.

Zwei nach dem heutigen Kenntnisstand "vollkommene" Methoden, die von STUIVER und die von BOZZA et al. sollen in einem eigenen Abschnitt IV.5 ausführlich dargestellt werden.

IV.1: Methoden die auf einer Gewichtsbestimmung des  
Riechstoffes und auf der Herstellung von Ver-  
dünnungsreihen beruhen.

Von VALENTIN wurden in der Mitte des 19. Jahrhunderts  
die ersten genaueren Geruchsmessungen nach folgendem  
Prinzip durchgeführt:

"Mischt man 1 Volumen eines Riechstoffes mit z.B. 100  
Volumen Luft, nimmt hiervon 1 Volumen, um es abermals  
mit 100 Volumen Luft zu vermengen und schreitet auf  
diese Art fort, so erhält man natürlich zuletzt eine  
Gasmasse, die nur ein bekanntes Minimum des gegebenen  
Riechstoffes einschließt" (197).

Praktisch ging VALENTIN so vor, daß er in ein dünnwan-  
diges Glasröhrchen eine genau abgewogene Riechstoff-  
menge einschmolz und das Röhrchen in einen Ballon be-  
kannten Volumens brachte. In dem mit einem Stopfen ver-  
schlossenen Ballon wurde das Röhrchen durch Schütteln  
zertrümmert. Der Riechstoff verdampfte und verteilte  
sich im Ballon.

Zur Herstellung beliebiger Riechstoffmengen zeigte  
VALENTIN zwei Wege auf:

- a) entsprechende Wahl von Riechstoffmenge und Ballon-  
volumen
- b) Füllen eines Glasröhrchens mit Riechlufte aus einem  
ersten Ballon und Zertrümmern des Röhrchens in ei-  
nem zweiten, mit Luft gefüllten Ballon bekannten  
Volumens.

Bei einer von VALENTIN angegebenen Modifikation wird  
aus einem oben offenen Glasröhrchen, das unten in ei-  
ne Kugel ausläuft, durch Erwärmen mit der Hand die da-  
rin befindliche Luft zum Teil ausgetrieben. Beim Er-  
kalten in riechender Luft strömt Riechlufte in das Röhr-  
chen hinein. Durch Zurückwiegen wird die aufgenommene  
Duftmenge bestimmt.

Als dritte Modifikation benutzte VALENTIN alkoholische  
Lösungen von Duftstoffen. Durch exaktes Zurückwiegen

konnte er die Konzentrationen der in Röhrchen eingesmolzenen Lösungen angeben. Beim Versuch wurden die Röhrchen am oberen Ende aufgeklopft und dann an der Lösung geschnüffelt.

Wir finden also bereits bei VALENTIN die beiden Prinzipien zur Herstellung von Verdünnungsreihen, die lange Zeit die Methoden der Geruchsmessungen bestimmten:

1. Die Herstellung gasförmiger Verdünnungen durch Mischen eines bestimmten Volumens Riechlufte mit "nichtriechender" Luft.
2. Die Herstellung von Riechstofflösungen, die durch Mischen einer bestimmten Riechstoffmenge mit verschiedenen Volumina des Lösungsmittels verschiedene Konzentrationen haben.

PASSY führte 1892 eine neue Methodik zur Bestimmung des Minimum perceptibile ein: In zwei Versuchsreihen stellte er einmal bei steigender, zum andern bei fallender Konzentration seiner alkoholischen Riechstofflösungen die beiden Konzentrationen fest, bei denen die Versuchsperson eben keine Geruchsempfindung mehr angab bzw. eben eine Geruchswahrnehmung hatte (156). Bei abnehmender Riechstoffkonzentration liegen die Schwellenwerte infolge der dabei stärkeren Adaptation höher als bei zunehmender Konzentration.

Die Methoden von BAILEY und POWELL (13), BAILEY und NICHOLS (14), GARBINI (64), RAMSAY (164), TOULOUSE und VASCHIDE (192), OTTOLENGHI (151), DI MATTEI (124), GRIESBACH (70), THOMPSON (191), MYERS (140) und RIVERS (168) gehen auf die von VALENTIN aufgezeigten Möglichkeiten zurück und bringen nichts methodisch Neues.

HENRY bestimmte die verdunstete Riechstoffmenge mit einem Aräometer (83). Je nach dem, wieviel Riechstoff aus einer oben am Aräometer angebrachten Schale verdunstet,

steigt das Aräometer in der Flüssigkeit, in der es schwimmt.

Die 1916 von HENNING beschriebene "Gewichtsmethode" gestaltet die Methode VALENTIN's bequemer und fehlerfreier (81).

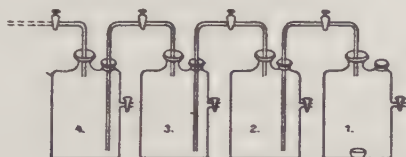


Abb.11: "Gewichtsmethode" nach HENNING (81).

In der ersten einer Reihe hintereinandergeschalteter WOLFF'scher Flaschen läßt man eine genau abgewogene Riechstoffmenge verdampfen. Ist die Dampfsättigung erreicht, so wird die Konzentration der Riechlufte in der 1. Flasche dadurch halbiert, daß man den Verbindungshahn zur 2. Flasche öffnet und abwartet, bis sich ein Gleichgewichtszustand zwischen den beiden Flaschen eingestellt hat. Wird dann der Hahn zwischen 1. und 2. Flasche geschlossen, der zwischen 2. und 3. geöffnet, so hat man nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes in der 2. Flasche eine halb so große Riechstoffkonzentration wie in der ersten. Indem man so fortfährt, erhält man schließlich in den Flaschen nacheinander Riechstoffkonzentrationen, die sich wie  $1:1/2:1/4:1/8$  etc. zueinander verhalten.

Eine genau abgewogene Riechstoffmenge ließ ZWAARDE-MAKER in seiner "Camera odorata" (beschrieben bei OHMA (150)) verdampfen. Dieses "smell cabinet" war aus Aluminium hergestellt und 40·40·40 cm groß. Die Innenflächen des Kastens waren mit Glas verkleidet. Durch ein Loch steckte die Versuchsperson die Nase in den Kasten

und schnüffelte. Als Schwellenwert wurde die Menge Riechstoff in Gramm angegeben, von der die Luft im Kasten dampfgesättigt war, wenn eine eben wahrnehmbare Geruchsempfindung auftrat.

ZWAARDEMAKER hat damit eine von FISCHER und PENZOLDT (56) angegebene Technik verfeinert. Sie ließen in einem Laboratoriumssaal eine bestimmte Riechstoffmenge verdunsten und diffundieren. Das Gewichtminimum wurde festgestellt, das an einer bestimmten Stelle des Saales eben noch zu einer Geruchswahrnehmung führte.

Keine der bisher angeführten Methoden bietet die Möglichkeit zur raschen oder kontinuierlichen Variation der Reizstärke.

Dies zu erreichen hat erstmals 1893 SABELIEFF (172) - wenn auch auf völlig ungeeignete Art - versucht. In eine der zwei von ihm dazu verwendeten Flaschen (Abb. 12) brachte er eine wässrige Riechstofflösung, die verdampfte und den Luftraum über der Riechlösung und durch ein Verbindungsrohr hindurch auch die Luft in der 2. Flasche mit Riechstoff anreicherte. SABELIEFF verdünnte nun durch Zugießen von Wasser die wässrige Riechstofflösung. Er glaubte, dadurch eine zur Verdünnung der Riechstofflösung proportionale Abnahme der Duftkonzentration in der 2. Flasche zu erhalten.

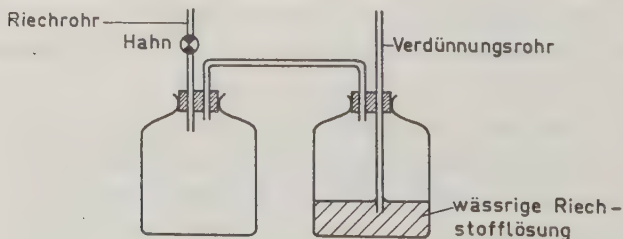


Abb. 12: Methode nach SABELIEFF (schematisch)

Ansätze zu einer Kontrolle des verabreichten Riechluftvolumens finden sich bereits sehr früh.

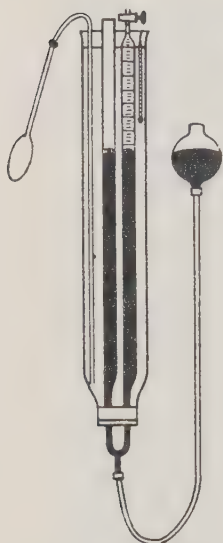
1909 verband STERNBERG eine regulierbare Pumpe mit einer Flasche, die eine bestimmte Menge gelösten Riechstoffes enthielt und konnte so regulierbare Mengen Riechlufte in die Nase der Versuchsperson strömen lassen (180).

Daß diese von MAHNER (120) angewandte STERNBERG'sche Methode zu unzuverlässigen und widersprechenden Ergebnissen führte, wird uns heute durch die Nichtbeachtung der später als ja so wichtig erkannten "Injektionsbedingungen" verständlich.

Ein mit Riechstofflösung bekannter Konzentration durchtränktes Filterpapier hängte v. ROTHE (zit.n.WENZEL (201)) in eine Glasröhre. Ein von einem Ventilator erzeugter Luftstrom mit bestimmter Geschwindigkeit wurde durch die Röhre und in die Nase der Versuchsperson geleitet.

Auch die von HENNING (81) angegebene "Volumenmethode" erlaubt, messbare Volumina von Riechgas mit beliebiger Geschwindigkeit in die Nase der Versuchsperson hinein zu blasen. Das zugrundeliegende Prinzip wurde später von HOFFMANN und KOHLRAUSCH bei ihrem "Dampfdruckkolfaktometer" angewandt und soll deshalb hier kurz besprochen werden (Abb.13).

Zwei untereinander und mit einem Niveaugefäß kommunizierende Röhren stehen in einem Gefäß mit Wasser beliebiger Temperatur. Eventuelle Temperaturschwankungen werden mit Hilfe eines "Umrührers" ausgeglichen: Mit einem Gummiballon wird Luft durch ein Glasrohr und durch das Wasser gepresst. Man öffnet den Hahn am graduierten Rohr und hebt das Niveaugefäß soweit an, daß das als Sperrflüssigkeit dienende Quecksilber bis zum Rohrende steht. Durch Senken des Niveaugefäßes kann dann ein messbares



Volumen Riechgas in das Rohr gesaugt und mit beliebigen Luftvolumina gemischt werden.

Bei geschlossenem Hahn wird dann das Niveaugefäß etwas angehoben. Öffnet man nun den Hahn, so wird das Riechgemisch unter Druck in die ans Rohr-ende gehaltene Nase der Versuchsperson geblasen.

Bei der Abmessung der Volumina muß der Meniskus des als Sperrflüssigkeit dienenden Quecksilbers in beiden Röhren und im Niveaugefäß auf gleicher Höhe stehen.

Abb.13: "Volumenmethode" nach HENNING.

Zwei interessante Methoden der Geruchsmessung, die sich in keine der 4 Gruppen zwanglos einordnen lassen, sollen hier angefügt werden. Sie wurden beide vor 1900 angegeben.

Die Methode von DIBBITS (36) ist auf eine spezielle Riechsubstanz abgestellt: Essigsäure. Man läßt dabei Luft mit bekanntem Feuchtigkeitsgehalt und einer Temperatur von  $80^{\circ}\text{C}$  über eine genau abgewogene Menge Essigsäurekristalle strömen. Da die Kristalle bei der Temperatur von  $80^{\circ}\text{C}$  kein Wasser aufnehmen können, kann die aus ihnen verdampfende Gasmenge und bei bekanntem Luftstrom somit die Konzentration des Essigsäuredampfes in der Luft berechnet werden. Ist auch der Meßfehler dieser Methode sehr groß (wohl ein Vielfaches des tatsächlichen Schwellenwertes), so ist doch die aufgezeigte Möglichkeit so originell, daß sie hier erwähnt werden sollte.

LESNARD (126) baute seine Messmethode auf der - sehr umstrittenen - Annahme auf, daß ein Geruch einen anderen unterdrücken kann ("Geruchskompensation"). Dem zu messenden Riechgasvolumen setzte er solange Terpentinöldampf zu, bis der Geruch des Riechstoffes vom Terpentergeruch verdeckt wurde. Die verwendete Menge des Terpentinöls bestimmte er mit Hilfe der Eigenschaft des Terpentins, das "Leuchten" des Phosphors abzuschwächen.

Alle bisher geschilderten Methoden halten einer Kritik nicht stand. Sie beachten jeweils mindestens eine, meist mehrere der folgenden Forderungen für eine exakte Geruchsmessung nicht:

1. Verwendung nichtriechenden Materials zum Bau der Apparate.
2. Adsorption des Riechstoffes an den Oberflächen der Apparate.
3. Beim Öffnen der Riechflaschen kommt es zu einer unkontrollierbaren Verdünnung der Riechlufte mit der umgebenden Luft - der Reiz ist also quantitativ nicht exakt charakterisiert.
4. Abhängigkeit der Verdampfung von Riechstoffen von den jeweiligen atmosphärischen Bedingungen.
5. Bei den Riechstofflösungen: Die Lösungsmittel sind zum Teil selbst Riechstoffe; es werden also Duftmischungen und keine chemisch reinen Duftstoffe geprüft. Bei Angabe der Schwellenwerte als Konzentration des Riechstoffes im Lösungsmittel wird zudem nicht beachtet, daß der Partialdruck des Riechstoffdampfes über dem Lösungsmittel durchaus nicht proportional zu der im Lösungsmittel gelösten Riechstoffmenge sein muß. Der Einfluß des Lösungsmittels auf die Verdampfung des gelösten Riechstoffes wird also nicht berücksichtigt. Sie ist nach dem NERNST'schen Verteilungssatz abhängig vom Verhältnis der Löslichkeit des Riechstoffes im Lösungsmittel und in der Luft. Es erklärt sich dadurch

z.B. die Tatsache, daß eine 1%-ige Lösung von  $\alpha$ -Jonon in Paraffinöl gar nicht riecht, während eine gleichstarke Lösung in Wasser einen deutlichen Geruch besitzt.

6. Bei den geringen Schwellenkonzentrationen gewisser Riechsubstanzen - bis zu 1-zehnmillionstel eines Grammes pro  $\text{cm}^3$  Einatemungsluft - ist das Auswiegen des Gewichtsverlustes zu ungenau. Durch die häufigen Verdünnungen wird der Gesamtfehler zu einem Vielfachen der jeweiligen Einzelmessfehler.
7. Es wird nicht in einer "geruchsfreien Umgebung" geprüft, zur Verdünnung keine "reine Luft" verwendet.
8. Die Adaptation - und damit eine Schwellenerhöhung - wird nicht durch genügend langes Atmenlassen zwischen den Versuchen in geruchsfreier Umgebung ausgeschaltet. Und vieles andere mehr.

Obwohl inzwischen viel exaktere Messmethoden gefunden wurden, werden immer noch Prüfungen von Geruchsleistungen nach den geschilderten Methoden durchgeführt. Sofern dabei nur eine vergleichende Prüfung angestrebt wird, ist dagegen nichts einzuwenden. So haben z.B. 1951 EHRENBURG und KALVELAGE ihre "Untersuchungen über Geruchsschwellen und ihre Beeinflussung durch Sulfate" (45) mit einfachem Schnüffeln an Flaschen durchgeführt, in denen jeweils  $10 \text{ cm}^3$  einer Kaffeelösung in zunehmender Verdünnung sich befanden. Und auch LE MAGNEN führte 1952 seine vergleichenden Untersuchungen über die "olfaktosexuellen Phänomene beim Menschen" (115) mit der Darbietung von Geruchssubstanzen verschiedener Konzentrationen in  $100 \text{ cm}^3$  einer wässrigen Lösung durch.

1965 schreibt DISHOECK: "The olfactometry we use for everyday practice is a modified PROETZ equipment." Die gemeinte, von PROETZ zum ersten Mal 1924 angegebene Methode zur Herstellung von Riechstofflösungen verschiedener Konzentrationen (zuerst in Petroläther, später in nicht-

riechendem, flüssigem Paraffin) benützt das Prinzip der Gewichtsbestimmung des Riechstoffes und der Verdünnung mit Hilfe von Lösungsmitteln.

Das Besondere der PROETZ'schen Methode ist, daß die Konzentrationen der Lösungen in relativen Maßzahlen (in Anlehnung an ZWAARDEMAKER "olfacts" genannt) angegeben werden. Dabei ist "one olfact" die für den jeweiligen Riechstoff bestimmte durchschnittliche Schwellenkonzentration im Lösungsmittel und "5 olfacts" also z.B. das fünffache dieser Konzentration. Die nach PROETZ modifizierte Einrichtung von DISHOECK besteht in jeweils einer Verdünnungsreihe in flüssigem Paraffin von -5,1,5, 10,50,100 und 1000 "olfacts" für jeden der 7 Primärgerüche nach AMOORE et al. (9).

Streng genommen müßten zu den hier beschriebenen Methoden der Herstellung quantitativ charakterisierter Geruchsreize durch eine Gewichtsbestimmung u.a. noch gerechnet werden:

1. Das "dynamic blast injection olfactometer" von ELSBERG und LEVY (s.S.20). Von seinen zahlreichen Abwandlungen seien noch erwähnt:

Das Olfaktometer nach FORTUNATO und NICCOLINI. Bei ihm sind 6 ELSBERG-Flaschen auf einer Drehscheibe so angeordnet, daß der Versuchsperson wahlweise von jeder der Flaschen Riechlufteingeblasen werden kann (58).

Das Olfaktometer nach JONES (Abb.14). Ein mit konstanter Geschwindigkeit laufender Motor treibt dabei über ein Gestänge den Kolben einer Spritze gleichmäßig vor, so daß - im Gegensatz zu der ELSBERG-Methode - der Injektionsdruck während der ganzen Injektionszeit konstant bleibt (100).

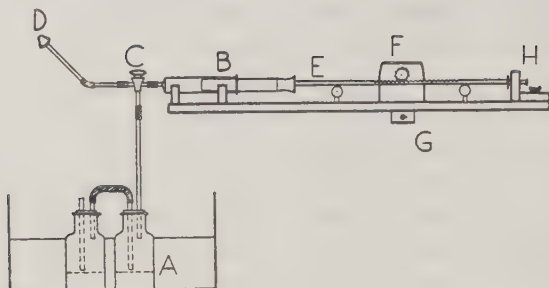


Abb.14: Diagramm des Olfaktometers nach JONES (100).

Die Injektionsmethode von GUERRIER und AZEMAR (73). Diese Autoren gehen von der ELSBERG'schen Vorstellung aus, die Riechmoleküle müßten mit einer gewissen kinetischen Energie auf das Riechepithel auf-treffen.

2. Die Methode von HESSE (s.S.79).
3. Die Methode von NEUHAUS (s.S.85). An die Stelle des Gewichtes der verdampften Riechstoffe tritt dabei lediglich das mikroskopisch gemessene Volumen.

IV.2: Methoden, die auf der Verdunstung von Riechstof-fen in Abhängigkeit von der freien Oberfläche bzw. auf der Entfernung von der Riechstoffquelle beruhen.

Bereits 1851 führte FRÖHLICH Geruchsmessungen mit der Entfernungsmethode durch. Einer Versuchsperson wurden die Augen verbunden und ein Riechfläschchen mit einer bestimmten Menge Riechstoff in Stärkemehl aus der Ent-fernung genähert. Es wurde entweder die Entfernung des Fläschchens von der Versuchsperson gemessen, bei der eine Geruchswahrnehmung auftrat, oder bei bestimmter Entfernung die Zeit bestimmt, die vom Öffnen der Fla-sche bis zum Auftreten der Geruchswahrnehmung verging (62).

Der von HAMBLOCH und PÜSCHEL (79) mitgeteilten Erfahrungstatsache, daß wir bei Benützung eines Riechrohres eine Riechquelle sicherer und deutlicher zu erkennen vermögen, bedient sich v. SKRAMLIK (178) in seiner 1936 mitgeteilten Modifikation der FRÜHLICH'schen Methode: Am oberen Ende eines in Richtung auf ein Schälchen mit 1 Gramm Riechstoff gehaltenen Riechrohres aus nicht-riechendem Material wird geschnüffelt. Das Schälchen wird solange der Röhre genähert, bis eine Schwellenwahrnehmung auftritt. Als reaktives Maß für die Riechschärfe verschiedener Personen oder für die Intensität verschiedener Riechstoffe dient die "Schwellenentfernung" des Schälchens vom Riechrohr.

Zur vergleichenden Bestimmung der Riechschärfe einer Versuchsperson oder der Intensitäten von Riechlösungen gab OUCHAKOFF 1930 eine simple Methode an (153): Von 2 Streifen Filtrierpapier wird einer mit Riechlösung getränkt. In bestimmten Zeitabständen wird dann der Geruch des mit Riechstoff getränkten Streifens mit dem des zweiten, unverändert gelassenen verglichen. Die notwendige Zeit bis zum Verschwinden eines wahrnehmbaren Geruchsunterschiedes der 2 Streifen wird gemessen. Sie gibt im Vergleich zu der für "normal riechende" Versuchspersonen bestimmten Zeit ein Maß für die relative Riechschärfe der Versuchsperson. Für verschiedene Riechlösungen bei derselben Versuchsperson bestimmt, ergibt diese Zeit ein Maß für die relative Intensität der Lösungen.

Ein nicht weiter entwickeltes Prinzip der Geruchsmessung benützte ZWAARDEMAKER bei seinem "Irisodorimeter". Die Öffnung einer mit abgewogenem Riechstoff beschickten Flasche kann dabei mit Hilfe einer Irisblende verändert werden. Von dieser Öffnung führt ein Riechrohr zur Nase der Versuchsperson. Durch eine seitliche Öffnung der Flasche (die ebenfalls durch eine Irisblende veränderlich ist) wird Luft eingeblasen und strömt durch das Riechrohr

zur Versuchsperson. Die bei einer bestimmten Größe der "Einblasöffnung" ermittelte Größe der Austrittsöffnung wird für eine Schwellenempfindung bestimmt und dient als Maß für die Schärfe des Geruchssinnes.

Nach demselben Prinzip ist ein von dem Russen EPSTEIN angegebener "Apparat zur genauen Bestimmung des Riechvermögens" gebaut (54). Der Apparat läßt die Riechlucht durch verschieden große Öffnungen strömen. Die Größe der Öffnung, durch welche die Versuchsperson eben einen Geruch wahrnimmt, charakterisiert den Grad ihres Riechvermögens.

Die zahlreichen Mängel der genannten Methoden sind so offenkundig, daß sie nur kurz angedeutet werden sollen: Die verschiedenen Diffusionsgeschwindigkeiten der einzelnen Riechstoffe werden nicht beachtet; Strömungen der Raumluft verfälschen das Ergebnis; der Einfluß von Temperatur, Adsorption, Adaptation, Art der Atmung usw. auf die Messwerte wird nicht berücksichtigt. Fast alle Autoren betonen auch, daß sie mit diesen Verfahren keine wissenschaftlichen Ergebnisse gewinnen, sondern nur klinische Vergleichsmessungen durchführen wollen.

HENRY konstruierte 1891 ein Zylinder-Olfaktometer auf der Grundlage der Diffusion von Riechstoffen (82). Der Apparat besteht aus einer Flasche, in der sich eine bestimmte Riechstoffmenge befindet. Durch den Korken der Flasche führt ein Riechrohr, das bis zur Korkenunterfläche reicht und oben in ein gegabeltes Nasenansatzstück (also für direkte Reizung) ausläuft. Über dieses Riechrohr ist ein oben offener Zylinder aus einer für die Riechstoffmoleküle permeablen Membran geschoben. Für die Membran ist zuvor die Abhängigkeit der diffundierenden Riechstoffmenge von der Diffusionszeit bestimmt worden. Der Membranzylinder kann verschieden weit über das Riechrohr hinaus in die mit Riechstoff gesättigte Luft der Flasche vorge-

schoben werden und begrenzt so verschieden große Einatmungsvolumina. Unter der Voraussetzung, daß jedesmal das ganze Einatmungsvolumen des Olfaktometers entnommen wird, kann aus der Diffusionszeit und dem Einatmungsvolumen die für eine Schwellenwahrnehmung notwendige Menge des Riechstoffes in Milligramm angegeben werden. Genaue Werte sind bei den vielfältigen Fehlermöglichkeiten mit dieser Methode nicht zu erwarten.

GRAZZI veröffentlichte 1899 seine "Oberflächenmethode": Eine Reihe Fließpapiere werden mit einer alkoholischen Lösung des Riechstoffes getränkt. Ist der Alkohol verdampft, so wird zur Messung eins dieser Papiere mit einem der vorrätig gehaltenen Kartons bedeckt, die verschieden große, kreisrunde Ausschnitte haben ( $1/2, 1, 1 1/2$  ... bis zu 5 cm im Durchmesser). Über den Kartonausschnitt wird ein 10 cm hoher Riechzylinder aus Papier von 5 cm Durchmesser aufgesetzt, an dem oben geschnüffelt wird. Der Durchmesser des Ausschnittes, bei dem beim Schnüffeln eben eine Geruchswahrnehmung auftritt, gilt als relatives Maß für die individuelle Wahrnehmungsschwelle (69).

Gegen diese Methode lassen sich einige schwerwiegende Bedenken vorbringen:

1. Es ist schwer - wenn nicht unmöglich - Fließpapiere herzustellen, in denen etwa dieselbe Riechstoffmenge nach Verdampfen des Alkohols enthalten ist. Selbst bei sonst gleichen Meßfehlern ist deshalb ein Vergleich der Ergebnisse nicht statthaft.
2. Die von GRAZZI angenommene Proportionalität zwischen Verdunstungsfläche und Reizstärke gilt nur dann, wenn die Luft im Riechzylinder nicht mit Duftstoff gesättigt ist. Da GRAZZI "sich selbst" einen Gleichgewichtszustand zwischen der Anzahl der aus dem Filtrierpapier verdampfenden und der oben am Riechzylinder in die Zimmerluft diffundierenden "Riechteilchen" einstellen

läßt, ist die Konzentration der Riechlufte oben am Riechzylinder vorwiegend abhängig von der Entfernung zum Filtrierpapier und von den die Wegdiffusion der Riechteilchen beeinflussenden Faktoren der Umgebung. Wenigstens von einer Mindestgröße der Verdunstungsfläche an, hat diese keinen merklichen - auf keinen Fall einen proportional mit ihr anwachsenden - Einfluß mehr auf die Riechstoffkonzentration in der eingeschnüffelten Luft. Unabhängig von der Größe der Verdunstungsfläche kann dann in der Luftschicht über dem Fließpapier eine Sättigung mit Riechstoff gemäß der herrschenden Temperatur eingetreten sein.

3. Dadurch, daß GRAZZI "sich selbst" ein Gleichgewicht zwischen Verdampfung und Wegdiffusion einstellen läßt, gelangt eine unter Umständen beträchtliche Anzahl von Riechstoffteilchen in die Zimmerluft und wird von der Versuchsperson eingeatmet. Durch Adaptationsvorgänge wird so die Messung verschieden stark beeinflusst. Bei genügend langer Versuchsdauer kann sogar - trotz Adaptation - die Wahrnehmungsschwelle in der umgebenden Zimmerluft erreicht und überschritten werden.

Eine experimentelle Überprüfung der Methode durch HENNING und ein Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit denen, die sich bei Benutzung des auf demselben Prinzip basierenden ZWAARDEMAKER'schen Olfaktometer ergaben, zeigte dann auch, daß "sogar die Größenordnung der Messwerte als Gemeinschaftliches aufhört" (81).

Nach ZWAARDEMAKER ist sein Olfaktometer "physikalisch dem GRAZZI'schen Verfahren ganz ähnlich" (213).

Es besteht aus einem beiderseits offenen Riechrohr, das mit seinem einen Ende in die Nase eingeführt wird (es wird also monorhin geprüft), mit dem anderen (graduiereten) in einen entsprechend durchbohrten "olfaktometri-

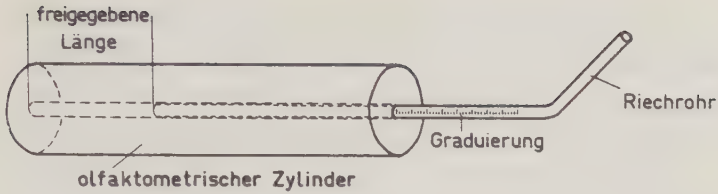


Abb. 15: Olfaktometer nach ZWAARDEMAKER (schematisch)

schen Zylinder" gesteckt wird und in ihm hin und her geschoben werden kann. Für flüssige Riechstoffe wird ein poröser Tonzylinder oder ein Zylinder aus Filtrierpapier mit einer Riechstofflösung durchtränkt, aus festen Riechstoffen wird ein entsprechend geformter Zylinder hergestellt. Von der inneren Oberfläche des Zylinders aus kann Riechstoff in das Zylinderlumen hinein verdampfen und beim Einatmen über das Riechrohr in die Nase gelangen. Bei gleichen äußeren Bedingungen (vorallem konstanter Temperatur) ist die Menge des verdampften Riechstoffes proportional zu der vom Riechrohr nicht bedeckten Innenfläche des olfaktometrischen Zylinders. Als Maß für diese "freie Oberfläche" dient die Länge, bis zu welcher das Riechrohr aus dem Zylinder herausgeschoben ist. "Das Minimum perceptibile ist dann in rein physischen, genau messbaren Größen ausgedrückt. Diese Größen sind:

1. Die Länge, bis zu welcher der olfaktometrische Zylinder herausgeschoben wird.
2. Die Konzentration der als Geruchsquelle angewendeten Lösung" (ZWAARDEMAKER (212)).

Die bei einer Schwellenwahrnehmung durchschnittliche Länge (in cm) der vom Riechrohr freigegebenen Fläche des olfaktometrischen Zylinders bezeichnet ZWAARDEMAKER als "1 Olfactie". Eine individuelle Schwelle kann so bequem

in ihrem Verhältnis zu der Durchschnittsschwelle angegeben werden. Als "Olfactus" (in Anlehnung an "Visus") gibt ZWAARDEMAKER den reziproken Wert der gemessenen Länge an. Er ist ein Maß für die Riechschärfe. "Olfactus 1/6" z.B. bedeutet: Die individuelle Schwelle wird erst erreicht, wenn der olfaktometrische Zylinder 6-mal soweit herausgeschoben wird wie bei einer "normal riechenden" Person, die individuelle Riechschärfe ist "1/6 normal". Einige Unzulänglichkeiten dieses ersten, "einfachen" Olfaktometers hat ZWAARDEMAKER selbst durch entsprechende Vorrichtungen beseitigt:

1. Duftstoff diffundiert aus der freien Öffnung und verdampft von der äußeren Oberfläche des olfaktometrischen Zylinders in den Untersuchungsraum. Beim Einatmen, also Ansaugen von Zimmerluft für die andere Nasenhälfte gelangen diese Riechstoffmoleküle zur Versuchsperson. Durch einen Schutzschirm zwischen Olfaktometer und Versuchsperson wollte ZWAARDEMAKER zunächst den eventuellen Einfluß von der nichtgeprüften Nasenhälfte her ausschalten (den wirkungsvolleren Verschuß der nicht geprüften Nasenhälfte hat er seltenerweise nicht empfohlen). Ein Zurücksaugen von Riechstoffmolekülen aus der Zimmerluft mit dem durch das Riechrohr ziehenden Luftstrom konnte er dadurch natürlich nicht verhindern. Später hat ZWAARDEMAKER deshalb die freie Öffnung des olfaktometrischen Zylinders verschlossen und die äußere Oberfläche gegen Verdampfung durch einen Überzug aus Glas oder Metall geschützt. Die aus dem Olfaktometer herausgesaugte Luft konnte also nur durch Einstromen von Zimmerluft durch die Nasenöffnung des Riechrohres ersetzt werden.
2. 1910 schrieb ZWAARDEMAKER über sein Olfaktometer:  
"Wenn man bei der Benutzung des Olfaktometers in natürlicher Weise atmet, übt der Aspirationsmodus einen unberechenbaren Einfluß auf das Resultat aus" (214).

Mit dem gemeinten Einfluß (Inspirationsvolumen, Inspirationszeit und Intervall zwischen zwei Inspirationen, also der für Verdampfung und Diffusion verbleibenden Zeit) klingt unausgesprochen die Erkenntnis an, daß die Reizintensität letztlich nicht durch die Konzentration des Riechstoffes in der Einatmungsluft, sondern vielmehr durch die Anzahl der auf die Riechrezeptoren auftreffenden Riechstoffmoleküle bestimmt ist.

Durch die Konstruktion eines "Präzisionsolfaktometers" versuchte ZWAARDEMAKER den "unberechenbaren Einfluß des Aspirationsmodus auf das Resultat" auszuschalten.

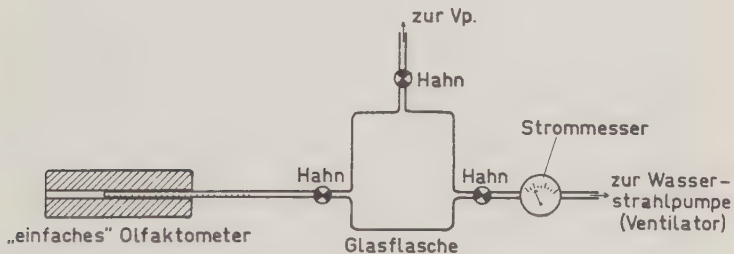


Abb.16: Präzisionsolfaktometer nach ZWAARDEMAKER (schematisch)

Das oben beschriebene "einfache" Olfaktometer ist an einen mit einem Hahn gegen das Olfaktometer abschließbaren,  $100\text{ cm}^3$  fassenden Glasbehälter angeschlossen. Von diesem Behälter führt eine ebenfalls mit einem Hahn abschließbare Verbindung zu einem Luftstrommesser und weiter zu einer Wasserstrahlpumpe oder einem Ventilator. Mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe bzw. des Ventilators wird Luft durch das Olfaktometer, den Glasbehälter und den Luftstrommesser gesaugt und zunächst ins Freie geleitet. Je nach der freigegebenen Oberfläche im Olfaktometer und nach der Strömungsgeschwindigkeit der Luft enthält diese eine in der ganzen Apparatur

gleich große Menge Riechstoff. Nachdem ein konstanter Luftstrom längere Zeit durch die Apparatur gesaugt wurde, werden die beiden Hähne des Glasbehälters geschlossen. Durch Öffnen eines dritten Hahnes wird dann an der in ihm sich befindenden Riechlucht geschnüffelt. Die "Reizgröße" ist nach ZWAARDEMAKER (216) dann proportional zu dem Quotienten:

$$\frac{\text{freigegebene Zylinderlänge} \cdot \text{Umkreis der duftenden Fläche}}{\text{Lufttransport pro Sekunde}}$$

Das dem Präzisionsolfaktometer nach ZWAARDEMAKER zugrundeliegende Prinzip ist identisch mit dem der VALENTIN'schen Riechflasche: Es wird an einer Flasche gerochen, in der sich Riechstoff einer bestimmten Konzentration befindet. Gegenüber den absoluten Werten, die man bei der Methode von VALENTIN erhält, erreicht ZWAARDEMAKER mit seinem Präzisionsolfaktometer nur relative - allerdings präzisere - Werte für das Minimum receptibile. Sie hängen im wesentlichen von der freigegebenen Zylinderlänge und der Luftstromgeschwindigkeit ab. Eine Umrechnung in absolute Werte ist theoretisch möglich, scheitert jedoch an den vielen nicht genau zu bestimmenden Einflüssen auf die Verdampfung des Riechstoffes: Der Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit; der Oberflächenbeschaffenheit des porösen Zylinders; der Geschwindigkeit des Luftstromes und vielem mehr.

Das Präzisionsolfaktometer hat sich nicht durchgesetzt. Es brachte weder einen theoretischen noch einen praktischen Gewinn. Die Methode ist jedoch den später bei den "Dampfdruck"- und "Strömungsolfaktometern" angewandten sehr ähnlich.

Die Fehlermöglichkeiten bei Messungen mit dem ZWAARDEMAKER'schen Olfaktometer liegen vorallem in dem nicht berücksichtigten Einfluß auf die Reizgröße durch Adsorp-

tion, Temperatur und "Aspirationsmodus".

Auch bei Gebrauch der "nur relativen" Olfaction als Maßeinheit sollte man sich zweier inkorrektter Annahmen ZWAARDEMAKER's bewußt sein:

1. Die Forderung, daß am Nullpunkt der Olfactieskala auch ein Nullreiz vorliegen muß, wird stillschweigend als erfüllt angenommen. Bereits 1898 wies jedoch GAMBLE für flüssige und feste Riechstoffe nach, daß beim vermeintlichen Nullreiz (wenn also das Riechrohr die Innenfläche des Zylinders eben ganz bedeckt) Riechstoff aus dem Olfaktometer entweicht und in das Riechrohr gelangen kann (63). Der Grund dafür ist ganz einfach der, daß Riechrohr und Zylinder nie ganz exakt aufeinanderpassen können, aus dem verbleibenden Spalt zwischen beiden immer Riechstoffmoleküle in die umgebende Luft diffundieren können.
2. Die Annahme, daß die "Reizgröße" immer proportional zu der freigegebenen Zylinderlänge ist, stimmt nicht. Nur dann, wenn die durch das Riechrohr eingeatmete Luft nicht mit Riechstoff gesättigt ist, wächst die Konzentration des Riechstoffes in der Einatemungsluft proportional mit der freigegebenen Oberfläche an. Ist die Einatemungsluft dagegen mit Riechstoff gesättigt, d.h. eine maximale Riechstoffkonzentration in der Luft erreicht, so wird die "Reizgröße" - die Anzahl der eingeatmeten Riechstoffmoleküle - lediglich noch vom "Aspirationsmodus", nicht mehr aber von der freigegebenen Zylinderlänge beeinflusst.

Beide Unstimmigkeiten sind bei klinischen Geruchsmessungen bedeutungslos. Die erste wegen ihrer Geringfügigkeit; die zweite, weil ihr Wirksamwerden durch entsprechende Vorsichtsmaßnahmen umgangen werden kann. Alles in allem ist das ZWAARDEMAKER'sche Olfaktometer "compared with other techniques, fairly reliable" (182).

Da es ausreichend genaue Werte bei der für eine klinische

Geruchsprüfung genügenden Vergleichsmessung liefert, wurde "das Olfaktometer" oft zu vergleichenden Leistungsmessungen beim menschlichen Geruchssinn benützt - teils in der Originalform (84,109,127), teils mit jeweils den gestellten Problemen angepassten Änderungen oder Zusatzapparaturen (35,63,101,209,u.a.). Selbst 1965 noch schreibt DISHOCK vom "Dutch-olfactometer": "We still think it should not be forgotten" (38).

#### IV.3: Methoden, bei denen die Reizintensität mit Hilfe des Dampfdruckes der Riechstoffe gemessen wird.

Bei der Feststellung des Minimum perceptibile von Riechstoffen in absoluten Werten ging man bei den bisher besprochenen Methoden fast durchwegs von wägbaren großen Mengen der Riechstoffe aus. Zur Schwellenbestimmung wurde mit Luft oder einem (geruchlosen) Lösungsmittel soweit verdünnt, bis der Geruch eben noch wahrnehmbar war. Die durch die starken Verdünnungen und das häufige Wiederholen der Verdünnungsprozedur resultierenden Messfehler sind jedoch im Vergleich zu den Schwellenwerten zu groß. Bei der Suche nach weniger fehlerbehafteten Methoden stieß man auf die Möglichkeit, die Ausgangskonzentration des Riechstoff-Luft-Gemisches aus dem bei bestimmter Temperatur bekannten Dampfdruck des Riechstoffes zu bestimmen. Durch die Mischung kleiner Mengen bei bestimmter Temperatur mit Riechstoff gesättigter "Riechluft" mit beliebig großen Mengen "reiner Luft" kann dann leicht und genau jede erwünschte Konzentration des Riechstoffes im Reizgemisch hergestellt werden.

Zum ersten Mal haben die Amerikaner WOODROW und KARPMAN 1917 diese "Dampfdruckmethode" angegeben (208). In ihrem Apparat wurde gereinigte Luft durch "EMMERLING'sche Adsorptionsröhren" geleitet, in denen die flüssige Riechsubstanz auf konstanter Temperatur gehalten wurde. Durch Änderung dieser Temperatur (und dadurch des Dampfdruckes

des Riechstoffes), der durch die Adsorptionsröhren strömenden Luftmenge und der Mischung dieses "riechenden Luftstromes" mit einem zweiten, gemessenen Strom "reiner Luft" konnten sie Riechluchtströme mit beliebigen Duftkonzentrationen herstellen. Eine Änderung der subjektiven Reizintensität gleichkonzentrierter Riechluchtströme mit der Temperatur wurde dadurch ausgeschlossen, daß jeder Luftstrom vor dem Einblasen in die Nase auf eine Temperatur von 33°C gebracht wurde.

Diese schon 1917 angegebene elegante Kombination der Dampfdruck- und der Strommischungsmethode ist aus unerklärlichen Gründen weder in den USA noch in Europa beachtet worden. Acht Jahre vergingen, bis 1925 HOFFMANN und KOHLRAUSCH die Dampfdruckmethode "neu" entdecken mußten. Die schon 1917 praktizierte Kombination von Dampfdruck- und Strommischungsmethode (die nach dem heutigen Kenntnisstand immer noch als bestes Prinzip gilt) wurde erst 1928 durch WIRTH bei Geruchsversuchen mit Insekten angewandt (205). Und gar erst 1939 haben dann GUNDLACH und KENWAY (77) die ersten mit einer solchen Kombinationsmethode beim Menschen gewonnenen Ergebnisse mitgeteilt.

#### Das Dampfdruckolfaktometer nach HOFFMANN und KOHLRAUSCH.

Prinzip: Für jede flüchtige Substanz gibt es für jede beliebige Temperatur bekannte Dampfdruck (Sättigungsdruck) den Partialdruck der Substanz in einem Substanz-Luft-Gemisch an. Aus der Verdampfungstemperatur kann also der entsprechende Dampfdruck und aus dem herrschenden Luftdruck, dem spezifischen Gewicht (und dem eventuellen Verdünnungsgrad der Riechlucht mit "reiner" Luft) damit die Konzentration der flüchtigen Substanz in "Gramm Substanz pro Kubikzentimeter Luft" angegeben werden.

#### Apparat und Untersuchungsmethode:

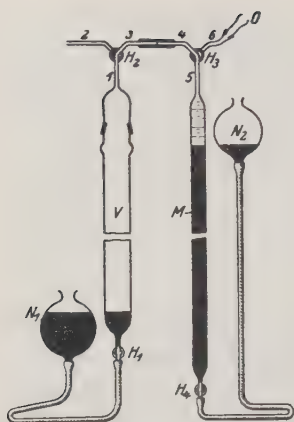


Abb.17: Dampfdruckolfaktometer von HOFFMANN und KOHL-RAUSCH (89).

Die Luft über dem Riechstoff im Vorratsrohr V sättigt sich entsprechend dem aktuellen Dampfdruck  $p$  mit Riechstoffdampf. Ein im graduierten Messrohr M abzumessendes Riechluftvolumen  $v$  wird mit einem abgemessenen Volumen "reiner Luft" im Gesamtvolumen V vermischt, durch Hochheben des Vorratsgefäßes  $N_2$  unter einen gewissen Druck gesetzt und nach entsprechender Stellung des Hahnes  $H_3$  über das Nasenansatzstück O der Versuchsperson in die Nase eingeblasen. Die Luft im Totraum zwischen V und M wird dabei durch Auffüllen mit dem als Sperrflüssigkeit dienenden Quecksilber entfernt.

Zur Schwellenbestimmung wird mit zu- und abnehmenden Konzentrationen oder durch systematisches Einkreisen mit abwechselnd über- und unterschwelligen Konzentrationen die eben wahrnehmbare Riechstoffkonzentration im Reizgemisch festgestellt.

Berechnung der Riechlufkonzentration R: Ist  $s$  das spezifische Gewicht des reinen Riechstoffdampfes und  $P$  der herrschende Atmosphärendruck, so erhält man die Riechlufkonzentration im Reizgemisch durch Multiplikation des Volumenverhältnisses  $p/P$  (Verhältnis von reiner Riechsubstanz zu Zimmerluft im Vorratsgefäß) mit dem Verdünnungs-

verhältnis  $v/V$  und dem spezifischen Gewicht  $s$ :

$$R = \frac{\rho}{\bar{\rho}} \cdot \frac{v}{V} \cdot s \quad (g/cm^3)$$

Errechnet man dabei das spezifische Gewicht mit Hilfe des Mol-Volumens  $22.400 \text{ cm}^3$  aus dem Molekulargewicht  $M$  des Riechstoffes (bei Dissoziation oder Polymerisation des Riechstoffdampfes aus den entsprechenden Molekulargewichten!) zu  $s = M/22.400$ , so ist eine weitere Reduktion auf Normalbedingungen überflüssig, da nur mit dem Verhältnis von Volumina gerechnet wird, der für Zähler und Nenner konstante Reduktionsfaktor also herausfällt.

#### Kritik und Modifikation der Methode:

1. Die Messfehler durch die unvermeidliche Adsorption von Riechstoff an den Glaswandungen ist durch die Konstruktion des Apparates auf die Adsorption im Messrohr beschränkt. Da die in der Kondensationsschicht des Messrohres adsorbierte Dampfmenge sich mit dem jeweiligen Partialdruck des Dampfes ändert, hängt die Stärke und die Richtung der Änderung, die eine im Messrohr eingestellte Dampfkonzentration durch Adsorption an den Wandungen erleidet, von ihrem Konzentrationsunterschied gegenüber der vorangegangenen Dampfprobe ab. Je kleiner mit anderen Worten der Konzentrationsunterschied der im Messrohr aufeinanderfolgenden Riechproben ist, umso kleiner ist auch die Konzentrationsänderung, die eine Probe durch Adsorption an den Glaswänden erleidet. Da HOFFMANN und KOHLRAUSCH je eine Schwellenbestimmung mit einer auf- und einer absteigenden Konzentrationsreihe, bzw. durch Einkreisen mit abwechselnd über- und unterschwelligen Konzentrationen durchführen, kann - unabhängig von der einmal stärkeren, ein andermal geringeren Adsorption verschiedener Riechstoffe - der Messfehler durch Adsorption "unmerklich klein" (89) gehalten werden.

2. Bei stark riechenden Stoffen wird eine Verdünnung in einem Messrohr zu ungenau. Schon HOFFMANN und KOHLRAUSCH empfehlen deshalb die Zwischenschaltung von einer oder mehrerer zusätzlicher Messröhren mit Ni-veaugefäßen zwischen dem Vorrats- und dem Messrohr der Originalapparatur für entsprechend fraktionierte Verdünnungen.

MITSUMOTO (128) schlägt die Zwischenschaltung nur einer Bürette vor und ein beliebig oft zu wiederholendes Hin- und Hersaugen zwischen den zwei Büretten nach jeweiliger entsprechender Verdünnung des Riechdampfes mit Luft. Zur Vermeidung größerer Fehler infolge Adsorption werden die einzelnen Rohre mit Luft entsprechender Riechstoffkonzentration "vorgespült". Für Stoffe mit hoher und zugleich für solche mit niedriger Dampfspannung bei Zimmertemperatur bringt die Änderung von MORIMURA eine elegante Lösung: Er stellt die wesentlichen Teile der Apparatur in ein großes Gefäß, das mit beliebig temperiertem Wasser durchspült werden kann. Man hat es so in der Hand, jede beliebige Dampfspannung in Abhängigkeit von der variablen Verdampfungstemperatur zu erhalten (136).

3. Daß bei dem Verfahren von HOFFMANN und KOHLRAUSCH keine "reine Luft" verwendet wird, sondern eventuell riechende Zimmerluft, bedingt bei sorgfältigem Arbeiten nur einen geringen Fehler und läßt sich zudem durch entsprechende Zusatzeinrichtungen leicht vermeiden.

Gegen die Methode läßt sich somit nur 1 wesentlicher Einwand vorbringen: Der bereits von HESSE bemerkte (85), von ELSBERG (48) und JEROME (98) gemessene Einfluß, den die Injektionsgeschwindigkeit (sive:-druck) der in die Nase eingeblasenen Riechlufte auf die Schwellenwerte hat, wird nicht beachtet. "Das Riechgas strömt mit mäßigem Überdruck in die Nase" (89) - dieser Überdruck wird nicht kontrolliert.

Je nach dem Verdünnungsverhältnis  $v/V$  werden auch verschiedene Volumina injiziert, was ja gleichfalls Einfluß auf die Messwerte hat.

Da sich beides - Injektionsdruck und Injektionsvolumen - jedoch beim Gerät von HOFFMANN und KOHLRAUSCH kontrollieren läßt, verbleibt letztlich nur noch der Einwand, daß der Injektionsdruck während der Injektion nicht konstant bleibt, von einem anfänglichen Maximum auf den herrschenden Atmosphärendruck abfällt.

Verglichen mit den früheren Konstruktionen markiert das von HOFFMANN und KOHLRAUSCH 1925 angegebene Dampfdruckolfaktometer also einen echten Fortschritt in der Messmethodik. Es brachte mit der Einführung des Dampfdruckes anstatt des Gewichtes zur Bestimmung der Riechstoffkonzentration das Prinzip der Reizkontrolle, das zuverlässig genug und deshalb auch heute noch als das beste anzusehen ist. Fast alle modernen und leistungsfähigen Olfaktometer benützen es. Die Entwicklung neuer Prinzipien zur Messung von Riechstoffen auf Grund physikalischer und chemischer Eigenschaften (s.Kap.V) hat für die Geruchsmessung bisher keinen weiteren echten Fortschritt gebracht.

Der apparative Fehler der Dampfdruckmethode ist so gering, daß er weit unterhalb jener Fehlergrenze für Geruchsschwellenbestimmungen von bis zu 50 % liegt, die durch physiologische und psychologische Bedingungen der Versuchsperson verursacht wird. So ergab die von HESSE durchgeführte Überprüfung der Dampfdruckmethode mit Hilfe einer Kombination von Gewichtsmethode und gasvolumetrischer Verdünnung (85), dann auch Ergebnisse, die innerhalb der physiologisch bedingten Streubreite liegen. HESSE ließ dabei in einem großen Gasballon eine genau abgewogene Riechstoffmenge solange verdampfen, bis die Luft in ihm dampfgesättigt war. Durch Zurückwiegen mit feinsten Mikrowaagen konnte er den Gewichts-

verlust, und bei bekanntem Ballonvolumen daraus die Konzentration der Ballonluft in "Gramm Riechstoff pro  $\text{cm}^3$ " bestimmen. Die Verdünnung bis zur Schwellenkonzentration erfolgte wie beim Gerät von HOFFMANN und KOHLRAUSCH gasvolumetrisch. Infolge der Adsorption an den hier großen Glasflächen lagen die von HESSE bestimmten Schwellenwerte ungefähr um das 1,5-fache höher als bei der Bestimmung mit dem Dampfdruckolfaktometer. Bei Korrektur der Messwerte durch Berücksichtigung des Adsorptionskoeffizienten und der Adsorptionsoberfläche waren die bestimmten Schwellenwerte "annähernd gleich" (87).

Als Modifikation für solche Substanzen, die auch beim Verdampfen in großen Ballons keinen wägbaren Gewichtsverlust erleiden, erdachte HESSE (86) ein anderes Prinzip: Mit Hilfe eines Ventilators läßt man solange abgemessene Luftmengen über die Substanz strömen, bis ein wägbarer Gewichtsverlust durch Verdampfung eingetreten ist. Dann ist wiederum eine Berechnung der Duftkonzentration in Gramm Riechstoff/ $\text{cm}^3$  möglich. Die Riechstoffkonzentration wird (falls nötig) dadurch bis zur Riechschwelle verringert, daß durch einen zweiten Ventilator ein ebenfalls abgemessener Strom "reiner" Luft mit dem ersten, die Riechsubstanz enthaltenden Luftstrom vermischt wird.

Dieses zur Überprüfung der Dampfdruckmethode durch HESSE angewandte Verfahren benützt also zugleich das Strommischungsprinzip. Das 1953 von NEUHAUS (142) angegebene Verfahren z.B. unterscheidet sich von dem von HESSE im Prinzip lediglich dadurch, daß die verdampfte Riechstoffmenge nicht gewogen, sondern in Raumeinheiten gemessen wird.

Viele zuverlässige Untersuchungsergebnisse wurden mit dem Dampfdruckolfaktometer nach HOFFMANN und KOHLRAUSCH - in der Originalform oder mit Modifikationen - gewon-

nen (85,86,123,128,136,189 u.a.).

1948 gab WENZEL ein Verfahren an, das

1. eine Bestimmung der Riechstoffkonzentration in "Gramm pro  $\text{cm}^3$ " mit Hilfe des Prinzips der Dampfdrucksättigung erreicht,
2. eine bei HOFFMANN und KOHLRAUSCH nicht mögliche kontrollierte Änderung der Reizintensität durch Injektion unter verschieden großem Druck gestattet. Durch eine sinnvolle Einrichtung ist dabei gewährleistet, daß der Injektionsdruck während der Injektionsdauer konstant bleibt.

Die Methode von WENZEL stellt gleichzeitig einen Übergang dar zu dem Prinzip, das auch bei den meisten Strömungsfaktometern angewandt wird: Beim Hindurchperlen durch eine Riechflüssigkeit wird ein Luftstrom mit Riechstoffdampf gesättigt. Sie soll deshalb an dieser Stelle besprochen werden (Abb.18).

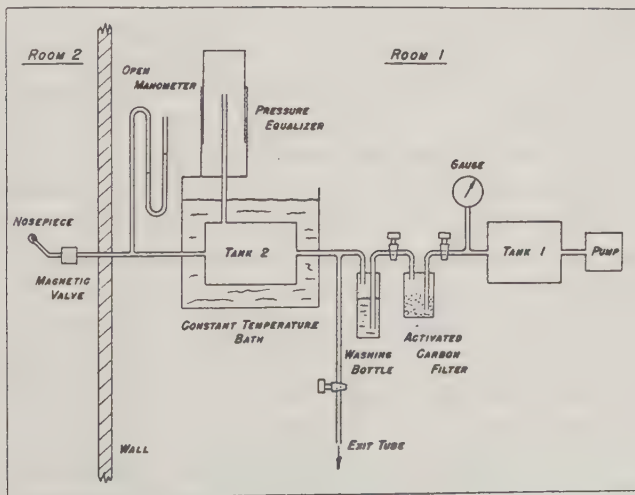


Abb.18: Diagramm des Olfaktometers nach WENZEL (201).

Mit einem "diaphragm compressor" wird Luft in einen Tank 1 (Fassungsvermögen rund 34 Liter) auf einen beliebigen Druck (bis zu ca. 9 kp/cm<sup>2</sup>) gepumpt. Von ihm werden abgemessene Luftmengen in den gleich dimensionierten Tank 2 geleitet. Zur Entfernung organischer Verunreinigungen werden sie durch Aktivkohle und eine "washing bottle" geleitet. In der Waschflasche sättigt sich der in kleine Luftbläschen aufgeteilte Luftstrom beim Hochperlen in der wässrigen Riechstofflösung gleichzeitig mit Riechstoffdampf.

Der Tank 2 liegt in einem Wasserbad, das die Verdampfungstemperatur mit Hilfe von Heiz- und Kühlschlangen, Thermostat und Umwälzvorrichtung in beliebiger Höhe konstant hält. Im Tank 2 ist ein Verdampfungsschälchen mit reinem Riechstoff aufgestellt. Durch zusätzliche Verdampfung wird so der durch Adsorption an den Tankwänden eintretende Konzentrationsabfall ausgeglichen und eine der eingestellten Verdampfungstemperatur entsprechende Sättigung der Riechlufte erreicht.

Der Druck im Tank 2 kann durch eine gleichzeitig als "pressure equalizer" dienende Vorrichtung reguliert werden: Eine unten offene "Spirometerglocke" taucht in destilliertes Wasser ein. Ihr Luftraum ist mit dem Innern des Tankes 2 verbunden. Ein auf den Boden der Spirometerglocke gelegtes Gewicht erzeugt im Tank 2 einen Überdruck, der manometrisch gemessen wird. Beim Öffnen einer "magnetic valve" wird der im Raum 2 sitzenden Versuchsperson über ein Nasenansatzstück ein Riechreiz injiziert. Durch situationsgemäßes Senken des Spirometerylinders bleibt dabei während der gesamten Injektionszeit der Injektionsdruck konstant.

Als Reizintensität wird die Anzahl der verabreichten Riechmoleküle definiert. Bei konstanter Injektionsdauer (WENZEL nahm 0,5 Sekunden) und bei einem zur Verdampfungstemperatur T gehörenden Dampfdruck VP ist sie durch das dann alleine vom Injektionsdruck TP abhängige In-

jektionsvolumen  $v$  bestimmt. Durch  $r = VP/TP$  wird das Verhältnis von Riechmolekülen zu Luftmolekülen bestimmt. Das Volumen  $V$ , das 1 g Riechstoff beim Injektionsdruck  $TP$  und der Verdampfungstemperatur  $T$  unter Normalbedingungen einnehmen würde, ergibt sich aus dem Standardvolumen  $22.400 \text{ cm}^3$  mit Hilfe der Gasgesetze zu:

$$v = \frac{760}{TP} \cdot \frac{273+T}{273} \cdot 22\,400$$

Die im Injektionsvolumen  $v$  enthaltene Anzahl  $M$  der Riechstoffmoleküle ist dann:

$$M = \frac{v}{V} \cdot r \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$$

wobei  $6,02 \cdot 10^{23}$  - die LOSCHMIDT'sche Zahl - ja die Anzahl der Moleküle im Grammol-Volumen  $22.400 \text{ cm}^3$  eines idealen Gases bei Normalbedingungen angibt.

Der Gesamtfehler der Methode - durch die vereinfachte Berechnung, v.a. aber durch die Bestimmung des Injektionsvolumens  $v$  bei vorgegebenen Injektionsdruck  $TP$  bestimmt - liegt nach WENZEL (201) "weit unterhalb des absoluten Schwellenwertes".

Diese 1948 veröffentlichte Methode von WENZEL war die erste, welche alle aufgestellten Forderungen (s.o.) erfüllt. Sie erlaubt v.a. die Kontrollierung der die Reizintensität (und damit die Schwellenwerte) beeinflussenden 3 Faktoren:

1. Injektionsgeschwindigkeit (sive:-druck)
2. Reizdauer
3. Anzahl der Riechmoleküle, die mit jedem Reiz verabreicht werden.

Der einzige Nachteil der WENZEL'schen Methode besteht darin, daß bei konstanter Reizdauer die Anzahl der verabreichten Riechmoleküle nur durch eine Änderung des Reizdruckes verändert werden kann. Dadurch aber bleibt

die Abhängigkeit der Schwellenwerte von der jeweiligen Injektionsgeschwindigkeit unberücksichtigt; da verschiedene Injektionsgeschwindigkeiten eine verschieden starke Erregung der "cutaneous receptors of the nostrils" bewirken, wird bei der WENZEL'schen Methodik eine neue variable, die Schwellenwerte beeinflussende Größe eingeführt. Es erschien deshalb erstrebenswert, die Forderung nach einer Kontrollierung der Injektionsgeschwindigkeit, der Reizdauer und der verabreichten Anzahl von Riechmolekülen dahingehend zu erweitern, daß jede der drei Größen gemessen und "unabhängig von den beiden anderen verändert werden kann" (182). Beim STUIVER'schen Olfaktometer wurde dies erstmalig verwirklicht.

#### IV.4: Methoden, die auf der Mischung von Luftströmen mit und ohne Riechstoffgehalt beruhen.

Schon 1917 wurde (wie bereits erwähnt) das Prinzip, eine Änderung einer Riechstoffkonzentration durch die Mischung eines "riechenden" Luftstromes mit einem solchen "reiner Luft" zu erreichen, von WOODROW und KARPMAN angewandt. Leider ist ihre Methode nicht beachtet und weiterhin benutzt worden. HESSE hat das Strommischungsprinzip 1927 wieder entdeckt, WIRTH 1928 bei Tierversuchen, GUNDLACH und KENWAY erst 1939 wieder für Untersuchungen beim Menschen angewandt.

Der Apparat von GUNDLACH und KENWAY zeigt die allen Strommischungsgeräten eigene Teilung in 3 Röhrensysteme (77). Das erste führt (als "Nullreiz" zu Vergleichszwecken) "reine Luft" zur Versuchsperson. Aus dem 2. Röhrensystem wird "reine Luft" mit der aus dem dritten kommenden "Riechlufte" in regulierbaren Mengen gemischt und der Versuchsperson zugeleitet. Den notwendigen gleichmäßigen Luftstrom erzeugten GUNDLACH und KENWAY dadurch, daß sie aus großen Ballons durch gleichmäßiges Einlaufenlassen von Wasser die darin enthaltene Luft austrieben. Die

Luft des 3. Röhrensystems wurde durch die reine Riechflüssigkeit geleitet und dabei entsprechend der aktuellen Verdampfungstemperatur mit Riechdampf gesättigt. In den 3 Röhrensystemen wurde die Größe der Luftströme durch Drosselventile reguliert und mit Hilfe des manometrisch gemessenen Druckunterschiedes errechnet. Da so also die Durchflußmengen in jedem Röhrensystem bekannt sind, ist es möglich, den Anteil eines jeden am Gesamtstrom und mit Hilfe des Dampfdruckes und der LOSCHMIDT'schen Zahl schließlich die mit jedem  $\text{cm}^3$  Luftgemisch verabreichte Anzahl der Riechmoleküle zu errechnen.

Die Methode berücksichtigt nicht, daß die absolute Anzahl der verabreichten Riechmoleküle wichtiger als das Verhältnis von Riechmolekülen zu Luftmolekülen, also die Riechstoffkonzentration der Reizluft ist. Ferner ist bei der Apparatur nicht gewährleistet, daß der durch die Riechflüssigkeit führende Luftstrom immer so klein ist, daß eine Dampfsättigung möglich ist.

1940 gab RENNES eine "Kammermethode" an (167): Von einem Ventilator wird Luft in eine Verteilerkammer getrieben, von wo aus ein Teil in eine zweite, der Rest über ein Kohlefilter und über pulverisierten Kampfer in eine dritte Kammer strömt. Die Ströme aus den Kammern 2 und 3 werden in einer 4. Kammer vereint. Von ihr aus wird das Luftgemisch der Versuchsperson zugeführt. Die Größe der einzelnen Ströme kann durch jeweils getrennt zu verändernde Auslaßöffnungen der Kammern reguliert werden. Wie sich die Konzentration des Reizgemisches errechnet, wird von RENNES in seiner Veröffentlichung von 1940 nicht angegeben.

Neu ist an der Methode die Regulierung der Ströme durch variable Durchtrittsöffnungen.

Auch das Olfaktometer, das NEUHAUS 1953 konstruierte, basiert auf dem Strommischungsprinzip (142). Im Gegensatz

zu den meisten übrigen Strommischungsolfaktometern benutzt NEUHAUS jedoch nicht die Dampfsättigung eines gemessenen Luftstromes zur Messung der Riechstoffkonzentration, sondern die Menge des in der Zeiteinheit verdampfenden Riechstoffes (Abb.19).

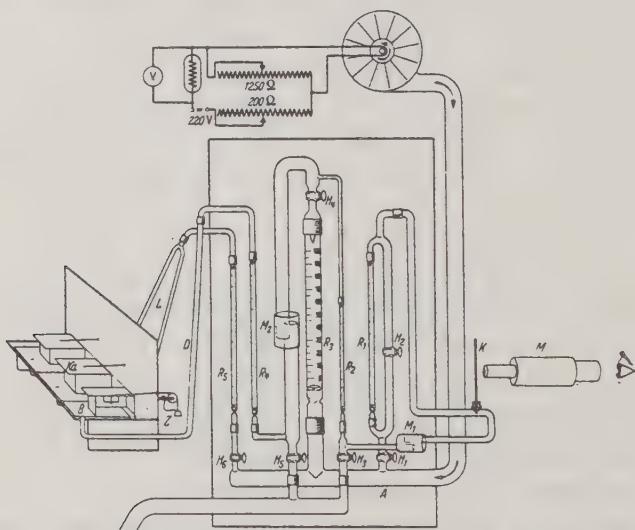


Abb. 1. Schema der Olfaktometeranordnung und der Wahlapparatur für den Hund.  
Oben: Luftturbino; *M* Mikroskop, *K* Kapillare (Duftstoffbehälter), *H*<sub>1</sub>...*H*<sub>4</sub> Hähne; *M*<sub>1</sub>, *M*<sub>2</sub> Mischkessel; *R*<sub>1</sub>...*R*<sub>4</sub> Rotameter (Strömungsmesser); *D* Duftleitung; *L* Luftleitung;  
*K*<sub>1</sub> hochklappbares Kästchen; *B* Büchsen (Zuckerbehälter); *Z* Zuggewicht mit Entlastungshaken.

#### Abb.19: Olfaktometer nach NEUHAUS (schematisch)

Die Verdampfung des Duftstoffes geschieht am freien, in einen Luftstrom ragenden Ende einer geeichten Glaskapillare. Der Meniskus einer eingeschlossenen Luftblase dient als Messmarke. Durch ein Mikroskop mit einem Messokular kann (bei bekannten Kapillarabmessungen) die verdampfte Riechstoffmenge bestimmt werden. Die Berechnung der Duftkonzentration in dem an der Kapillare vorbeistreichenden, gemessenen Luftstrom ist dann mit Hilfe der bestimmten Verdampfungszeit möglich.

Unter Zwischenschaltung von Mischkesseln zur gleichmäßigen Anreicherung der Luft mit Duftstoff werden mit Rota-

metern geeigneter (durch Nebenschlüsse zu erweiternder) Messbereiche gemessene, durch Hähne regulierbare Teilströme "reiner" und mit Riechstoff beladener Luft miteinander gemischt. Die nicht benötigten Teilströme werden über ein Abflußrohr ins Freie abgeleitet, so daß im Versuchsraum kein Störduft auftreten kann.

Die Anzahl  $N$  der Duftmoleküle pro  $\text{cm}^3$  Reizluft errechnet sich nach:

$$N = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h \cdot D \cdot L \cdot v_2}{t \cdot M \cdot v_1 \cdot v_3}$$

Dabei bedeuten:

- $r$  = Radius des Kapillarenlumens in cm
- $h$  = Höhe der verdampften Duftstoffsäule je Beobachtungszeit in cm
- $t$  = Beobachtungszeit in Sekunden
- $D$  = Dichte des Riechstoffes
- $M$  = Molekulargewicht des Riechstoffes
- $L$  = LOSCHMIDT'sche Zahl

$v_1, (v_2, v_3)$  = Luftvolumen je Sekunde in Rotameter  $R_1, (R_2, R_3)$ .

Rotameter  $R_4$  dient zur Messung des zum Versuch verwendeten Duftstromes. Am Rotameter  $R_5$  wird ein zu Kontrollzwecken bei den von NEUHAUS am Hund durchgeführten Untersuchungen dienender, sich in 2 Teilströme gabelnder Strom "reiner" Luft so einreguliert, daß in der Wahlapparatur für den Versuchshund (links in Abb.19) 3 gleichstarke Ströme auftreten.

Um Messfehler durch Adsorption von Duftmolekülen an den Glasrohrwänden auszuschalten, läßt NEUHAUS vor Versuchsbeginn die ganze Apparatur bei jeder Einstellung etwa 10 Minuten lang leer laufen. Bei den von NEUHAUS z.T. mit nur  $10^4$  Molekülen/ $\text{cm}^3$  angegebenen Konzentrationen ist - laminare Strömung vorausgesetzt - weder eine gleichmäßige Durchmischung des Luftstromes, noch - bei der angegebenen Glasrohrweite von 2,8 bzw. 1,7 cm - ein sich in absehbarer Zeit einstellendes Adsorptionsgleichgewicht zu erwarten.

Der von NEUHAUS angegebene Gesamtfehler der Methode von  $\pm 10$  % dürfte um ein Vielfaches höher liegen: Bei einer verwendeten Kapillare mit einem Innenradius von 0,002 mm beträgt der Messfehler alleine durch die angegebene Genauigkeit von  $\pm 0,00005$  cm bei der Bestimmung der lichten Weite schon  $\pm 25$  %, der dadurch bedingte Anteil am Gesamtfehler (der Radius der Kapillare steht in der Formel für N in der 2. Potenz!) also alleine schon  $\pm 50$  %! Dazu kommen die Fehler durch die Bestimmung der anderen zur Berechnung von N verwendeten Größen. Es erscheint dabei nicht glaubhaft, daß die Bestimmung der Strommengen mit der angegebenen Genauigkeit von  $\pm 2$  % möglich ist. Es dürfte sich dabei lediglich um die Ables- bzw. Einstellgenauigkeit der Rotameter handeln; der eigentliche Messfehler jedes Rotameters dürfte mindestens  $\pm 10$  % betragen. Mit Sicherheit liegt somit die Messgenauigkeit der NEUHAUS'schen Methode nicht unterhalb der "biologisch erreichbaren Genauigkeit der Schwellenbestimmung" (142), die mit bis zu  $\pm 50$  % angenommen wird.

Später hat NEUHAUS den von einer steuerbaren Turbine erzeugten Luftstrom zunächst durch ein Adsorptionsgefäß mit Aktivkohle geleitet. Er verspricht sich dadurch eine Elimination "beträchtlicher Anteile" (146) eventuell in der Luft enthaltener Düfte. TURK - der als Gewährsmann für diese Meinung zitiert wird - gibt jedoch für die von NEUHAUS im Versuch meist benützten Fettsäuren eine Adsorptionskapazität der Aktivkohle von nur rund 35 % an (196). Daß Aktivkohle selbst einen Geruch abgibt (FORSTER et al.) wird dabei nicht beachtet.

Für Versuche mit Duftgemischen (146) hat NEUHAUS 1955 sein oben beschriebenes Olfaktometer zu einem "Doppelolfaktometer" umgebaut (s. Abb. 20).

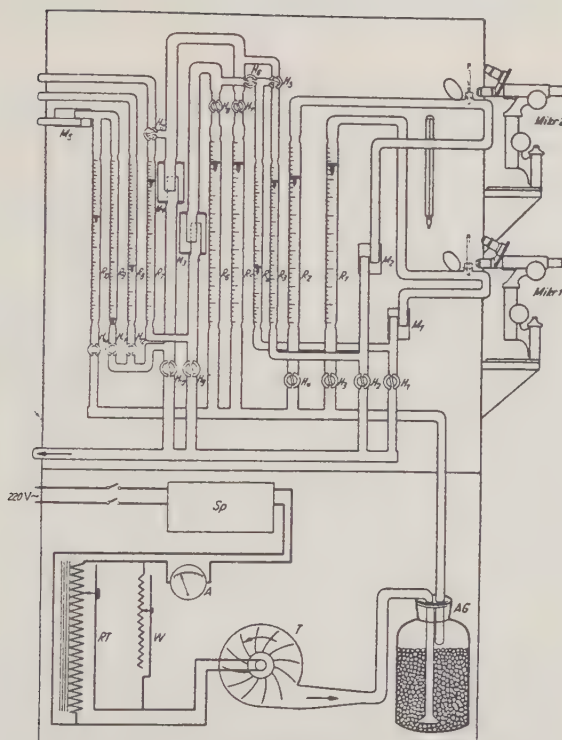


Abb. 1 A Ampèremeter, AG Absorptionsgefäß, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, ... H<sub>10</sub>, Regulierhähne, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, ... M<sub>10</sub>, Mischkessel, Mikr Mikroskop, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ... R<sub>10</sub>, Rotameter, RT Regeltransformator, Sp Spannungsgleichhalter, T Turbine, W Widerstand

Abb.20: "Doppelolfaktometer" nach NEUHAUS (146).

DRASTICH (39), MULLINS (139), MOZELL und PFAFFMANN (137), ADRIAN (zit.n.137), AMOORE et al. (9) und viele andere Autoren arbeiten mit Strommischungsolfaktometern, die das Prinzip der Dampfsättigung benutzen. Die Ströme werden teils mit Rotametern (wie bei NEUHAUS), teils mit manometrisch gemessenen Druckgefällen (wie z.B. bei STUIVER (182)) bestimmt.

Das Diagramm des von JOHNSTON (9) zur Überprüfung der

stereochemischen Riechtheorie entwickelten Olfaktometers soll hier noch wiedergegeben werden (Abb.21).

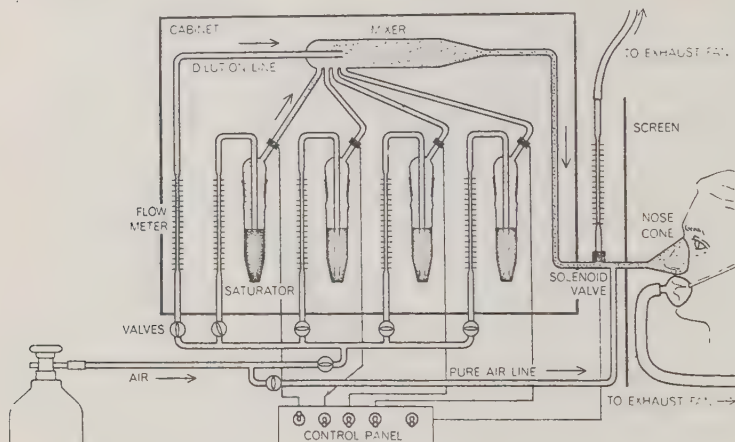


Abb.21: Diagramm des Olfaktometers nach JOHNSTON (9).

Alle in dem im Diagramm eingezeichneten Rechteck ("CABINET") angeordneten Teile der Apparatur liegen in einem auf konstanter Temperatur gehaltenen Wasserbad. Die Konzentrationen der Riechluftröme werden zur Kontrolle auch gaschromatographisch bestimmt.

#### IV.5: Das Olfaktometer von STUIVER (1958) - "A rational olfactometer" von BOZZA, CALEARO und TEATINI (1960).

Als Prototypen moderner und leistungsfähiger Olfaktometer, die das Prinzip der Strommischung und das der Dampfsättigung benutzen, sollen im folgenden zwei Apparate ausführlich beschrieben werden, die wohl Beispiele der derzeit besten Lösungen des apparativen Geruchsmessungsproblems darstellen.

1.) Das Olfaktometer von STUIVER mit Injektionsapparat (182).

Prinzip: Ein gemessener Strom von Stickstoff (um eine Oxydation der Riechsubstanz zu verhindern; Stickstoff ist geruchlos) wird durch ein Vorratsgefäß geleitet, in dem sich der chemisch reine Riechstoff befindet. Der Riechlufstrom wird mit einem abgemessenen Strom von Stickstoff weiter verdünnt. Ein Teil des verdünnten Stromes wird mit einem Strom "reiner Luft" gemischt und das resultierende Luft-Riechstoff-Gemisch der Versuchsperson zugeleitet. Um die durch die willkürliche Atmung auf den wirksam werdenden Geruchsreiz einflussnehmenden Faktoren auszuschalten, wird der Geruchsreiz mit einem Injektionsapparat der Versuchsperson monorhin eingeblasen. Es lassen sich dabei Injektionsgeschwindigkeit, Injektionsvolumen und Injektionszeit jeweils unabhängig voneinander regulieren.

Als "reine Luft" wird aus der geruchsarmen Außenumgebung des Untersuchungsraumes angesaugte und in einer "washing device" (B in Abb.23) in destilliertem Wasser "gewaschene Luft" verwendet. Eine Reinigung durch Adsorption an Aktivkohle verwendet STUIVER deshalb nicht, weil FORSTER et al. (61) bereits 1950 nachgewiesen haben, daß Aktivkohle selbst einen Geruch abgibt. Auch für Silicagel trifft dies zu, wie STUIVER in Versuchen nachwies. Die Möglichkeit der Luftreinigung mit einem COTTREL-Apparat scheidet deshalb aus, weil dabei (riechendes) Ozon entsteht, das nur mit selbst wieder mehr oder weniger stark riechenden Chemikalien entfernt werden könnte. Die sehr wirkungsvolle und nebenwirkungsfreie Reinigung der Luft durch Kondensation - also dadurch, daß der Luftstrom in einer "Kondensationsfalle" durch flüssige Luft geleitet wird - scheitert bei den großen benötigten Luftvolumina (bis zu  $300 \text{ cm}^3 / \text{sec}$ ) an den hohen Kosten der erforder-

derlichen großen Mengen flüssiger Luft.

Durch einen Kompressor (A in Abb.23) mit einer maximalen Leistung von 900 ccm/sec wird der Luftstrom in Gang gehalten. Es ist dabei besonders darauf zu achten, daß dieser Kompressor auf keinen Fall einen eventuell vorhandenen Eigengeruch (von den Baumaterialien oder dem Schmiermittel) der durchströmenden Luft beigibt. Bei dem von STUIVER verwendeten Modell war dies anfänglich der Fall, weshalb immer wieder große Reinigungsprozeduren und die Verwendung von nicht riechendem Paraffinöl zum Schmieren notwendig waren.

Um einen Einfluß von physikalischen Faktoren der "reinen Luft" auszuschalten, werden Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft konstant gehalten (C in Abb.23). Um eine konstante Feuchtigkeit von 32 % zu erhalten, wird die Luft zuerst bei Zimmertemperatur mit Wasserdampf gesättigt, dann auf 0°C abgekühlt und schließlich auf die Temperatur von 17°C wieder erwärmt. Diese Endtemperatur wird mit Hilfe eines Thermostaten konstant gehalten.

Der zur Sättigung mit dem Riechstoff und ersten Verdünnung benützte Stickstoff wird aus einer Pressluftflasche bezogen. Der industriell hergestellte, stark verunreinigte Stickstoff wird zuerst durch Adsorption an Kohle und Silicagel, dann (da nur maximal 10 ccm/sec benötigt werden) durch Kondensation mit flüssiger Luft gereinigt (E in Abb.23).

Die Regulierung der Duftkonzentration wird mit Hahnen und Kapillaren erreicht. Sie läßt sich am besten an Hand eines Diagrammes (Abb.22) erläutern.

Wir können 3 "Linien" unterscheiden, die wir (im Diagramm von oben nach unten) als 1., 2. und 3. Linie bezeichnen wollen. In allen 3 Linien finden sich Kapillaren (1,2,4). Zudem stellt eine Kapillare 3 die Verbin-

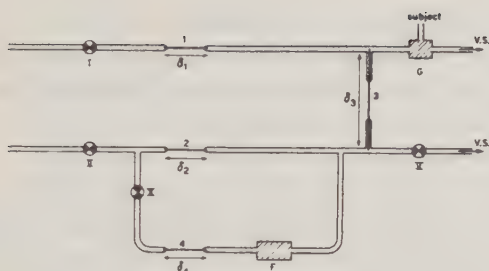


Abb.22: Diagramm des STUIVER'schen Olfaktometers (182).

dung zwischen 1. und 2. Linie her. Diese Kapillaren lassen in Abhängigkeit von ihren (fixen) Dimensionen für jeden (variablen) Druck eine bestimmte Menge Gas hindurchfließen. Diese Durchflußmenge wird für jede einzelne Kapillare durch Eichung bei allen vorkommenden Drucken bestimmt und in Diagrammen aufgezeichnet, aus denen später für jeden gemessenen Druck die Durchflußmenge der betreffenden Kapillare nur abgelesen zu werden braucht. Die Druckregulierung (und damit die Regulierung der Durchflußmengen) geschieht durch Änderung der jeweiligen Durchtrittsöffnung an den Hahnen I, II, V und X. Mit Manometern wird der an jeder Kapillare jeweils herrschende Druck  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  und  $\sigma_4$  gemessen.

Wie bei den meisten modernen Olfaktometern (das NEUHAUS'sche bildet eine Ausnahme) wird die Riechstoffkonzentration im Ausgangstrom von STUIVER mit Hilfe des von HOFFMANN und KOHLRAUSCH eingeführten Prinzips der Dampfsättigung bestimmt. Dazu wird vom Gesamtstickstoffstrom (der durch Hahn II reguliert wird) ein Anteil (durch Hahn X reguliert, durch  $\sigma_4$  gemessen) durch ein Verdampfungsgefäß (F) in der 3. Linie geleitet. Dieses Verdampfungsgefäß enthält die chemisch reine Riechflüssigkeit und wird mit Hilfe eines Wasserbades und eines Thermostaten auf einer konstanten Temperatur gehalten. Aus dem Dampfdruck der

Riechsubstanz bei der eingestellten Temperatur (aus entsprechenden physikalisch-chemischen Tabellen zu entnehmen) und der gemessenen Durchflußmenge der 3. Linie kann dann die Riechstoffkonzentration des Stickstoffstromes der 3. Linie berechnet werden.

(Voraussetzung dabei ist, daß der das Verdampfungsgefäß durchfließende Stickstoffstrom nicht zu groß ist. Ob dies der Fall ist, der Stickstoffstrom der 3. Linie also mit Riechdampf gesättigt ist, muß geprüft werden. Dazu läßt man viele Stunden lange eine gemessene, mit Sicherheit größere als später jemals im Versuch benötigte Menge Stickstoff durch die 3. Linie fließen und bestimmt den durch Verdampfung eintretenden Gewichtsverlust der Riechsubstanz im auf konstanter Temperatur gehaltenen Verdampfungsgefäß durch Zurückwiegen. Dieser Gewichtsverlust muß mit dem übereinstimmen, den man mit Hilfe der aktuellen Dampfspannung der Riechsubstanz für eine Dampfsättigung und das während des Testes durch das Verdampfungsgefäß geflossene Gesamtvolumen Stickstoff errechnen kann).

Der nach Größe und Riechstoffkonzentration bekannte Stickstoffstrom der 3. Linie wird in die 2. Linie eingeleitet und mit dem (durch  $\sigma_2$  gemessenen) in der 2. Linie fließenden Anteil des Gesamtstickstoffstromes verdünnt. Die Konzentration der resultierenden Mischung kann aus den bekannten Fließmengen und der Ausgangskonzentration berechnet werden. Von diesem verdünnten Stickstoff-Riechstoff-Strom wird normalerweise der größte Teil (reguliert durch Hahn V) zu einem Ventilationssystem und von ihm ins Freie abgeleitet. Der Rest (ebenfalls durch Hahn V reguliert) fließt durch die Kapillare 3 (gemessen durch  $\sigma_3$ ) zur 1. Linie und wird mit dem (durch Hahn I regulierten, durch  $\sigma_1$  gemessenen) Strom "reiner Luft" verdünnt. Aus den bekannten Fließmengen des Luft- und Stickstoffstromes und aus der bekannten Riechstoffkonzentration im Stickstoffstrom kann schließlich die Konzentration des resultierenden Luft-Stickstoff-Riechstoff-Gemisches berechnet werden.

In Abb. 23 sind die zur Druckmessung verwendeten Manometer  $P_1$ , ...  $P_5$  eingezeichnet.  $P_3$  und  $P_5$  sind dabei mit

Wasser, die übrigen Manometer mit Quecksilber gefüllt. Damit sich keine Riechsubstanz im Wasser lösen kann, muß das Manometer  $P_5$  an einer Stelle angebracht werden, wo keine Riechlufte vorbeiströmt.

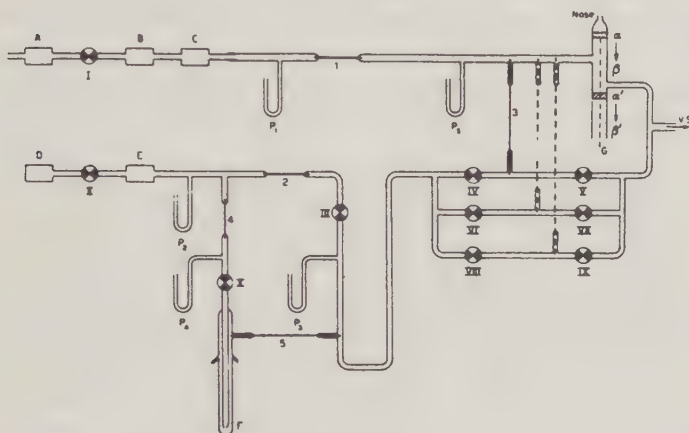


Abb.23: Detailliertes Diagramm des STUIVER'schen Olfaktometers (182).

Die Differenz der abzulesenden Werte von jeweils 2 der Manometer gibt den an der zwischen ihnen liegenden Kapillare herrschenden Druck  $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_4$  an. Es ist also z.B. der Druck an Kapillare 1 bestimmt durch die Differenz der Werte von  $P_1$  und  $P_5$  ( $\sigma_1 = P_1 - P_5$ ). Entsprechend ist  $\sigma_2 = P_2 - P_3$ ,  $\sigma_3 = P_3 - P_5$  und  $\sigma_4 = P_2 - P_4$ . (Die Kapillare 5 - zwischen Verdampfungsgefäß und 2. Linie - dient nicht zur Strommessung wie die übrigen 4 Kapillaren. Sie hat lediglich die Funktion, den kleinen mit Riechstoff gesättigten Stickstoffstrom aus der 3. Linie in das Zentrum der 2. Linie zu führen). In Abb.23 sind 3 Verbindungskapillaren mit verschiedenen großen Dimensionen zwischen 1. und 2. Linie mit den zugehörigen Rohrsystemen und Hahnen eingezeichnet. Durch

den gleichzeitigen Einbau dieser wahlweise zu benützenden 3 Kapillaren im Apparat wird die Variationsbreite der oben beschriebenen Konzentrationsänderung im Endgemisch erheblich erweitert.

Ein zweites Prinzip zur Konzentrationsänderung kann (neben der Verwendung sehr kleiner Kapillaren) bei Substanzen mit sehr niedriger Schwelle (z.B. Mercaptanen) angewandt werden: Der Durchfluß durch das Verdampfungsgefäß F kann so groß gemacht werden, daß der Stickstoffstrom nicht mehr mit Riechstoffdampf gesättigt ist. Wie groß die Konzentration des Stickstoffstromes der 3. Linie dann noch ist, kann nur mit Hilfe eines viele Stunden dauernden Tests angegeben werden. Dazu muß bei festgestellter Durchflußmenge in der 3. Linie der Gewichtsverlust der Riechsubstanz infolge Verdampfung aus einem Zurückwiegen ermittelt werden. Bei bekannter Gesamtdurchflußmenge während der Testzeit kann dann die Menge des pro Volumeneinheit abgegebenen Riechstoffes und damit die Konzentration des ungesättigten Stickstoffstromes bestimmt werden.

Einfacher und weniger zeitraubend ist ein drittes, empfehlenswerteres Prinzip zur Konzentrationsverminderung: Das Verdampfungsgefäß wird auf eine beliebige Temperatur unter  $0^{\circ}\text{C}$  abgekühlt, der Dampfdruck der Riechsubstanz dadurch verringert.

Der in Abb. 23 schematisch gezeichnete Injektionsapparat G besteht aus einem feststehenden Perspex-Zylinder und zwei in ihm verschiebbaren, auf einer Stange in festem Abstand zueinander montierter Messing-Kolben. In der gezeichneten Stellung  $\alpha-\alpha'$  strömt der ganze Riechlufstrom durch den Injektionsapparat hindurch und wird von einem Ventilationssystem V.S. ins Freie geschafft. Durch eine elektrische Steuerungseinrichtung können die Kolben eine beliebige Zeit lang in die Stellung  $\beta-\beta'$  gebracht werden. Der Duftstrom gelangt dann über ein Nasenansatzstück zur Versuchsperson.

Während der Injektion in die Nase hält die Versuchsperson den Atem an. Die injizierte Riechluff tritt durch den geöffneten Mund der Versuchsperson wieder aus.

Da der injizierte Riechluffstrom gegen einen Widerstand in der Nase anströmt, ändert sich durch Rückwirkung auch der Druck am Manometer  $P_5$  für die Dauer der Injektionszeit. Würde man dies zulassen, so würde sich während der Injektion die Konzentration der Riechluff ändern, da sich ja  $\sigma_3 = P_3 - P_5$  ändern würde. Eine solche Änderung von  $P_5$  (und damit eine nicht erwünschte Konzentrationsänderung der Riechluff) kann dadurch verhindert werden, daß in die Röhre zwischen Injektionsapparat und Ventilationssystem ein Hahn eingebaut wird. Für jede Versuchsperson und an jedem Versuchstag muß die entsprechende Hahnstellung, bei der sich  $P_5$  nicht ändert, neu experimentell ermittelt werden.

Wird die Durchflußmenge einer der Kapillaren 3 mittels des Hahnes V verändert, so ändern sich rückwirkend auch die Durchflußmengen der Kapillaren 2 und 4. Die Verdünnung der Riechsubstanz in der 2. Linie wird dadurch jedoch nicht betroffen, da sie ja ausschließlich von dem Verhältnis (nicht von den sich ändernden absoluten Mengen selbst) der Durchflußmengen in den Kapillaren 2 und 4 abhängt und dieses Verhältnis durch die Dimensionen der Kapillaren unveränderlich bestimmt ist.

Der ganze Apparat wurde aus Glas hergestellt. Für die Hahnen wurde kein (unter Umständen ja riechendes) Dichtfett verwendet; sie wurden Glas-auf-Glas dicht eingepasst. Um die Adsorption so gering wie möglich zu gestalten, wurden die Innenoberflächen möglichst klein gehalten, also möglichst kurze Rohre mit möglichst kleinen Durchmessern verwendet. Für die einzelnen Riechstoffe muß jeweils das Ausmaß der ihnen eigenen Adsorption bestimmt und die Apparatur evtl. solange vor Versuchsbe-

ginn in Betrieb gehalten werden, bis sich ein Adsorptionsgleichgewicht eingestellt hat. Da sich das Maß der Adsorption mit der Konzentration ändert, sind bruske Konzentrationsschwankungen entweder zu vermeiden oder aber die Einstellung eines erneuten Gleichgewichtszustandes abzuwarten. Daß die in einem besonderen Raum sitzende Versuchsperson zwischen den Versuchen nicht dieselbe Luft atmet, die als Nullreiz und zur Herstellung der Reizgemische verwendet wird, ist der einzige methodische Mangel des STUIVER'schen Verfahrens. Er läßt sich jedoch durch entsprechenden technischen und finanziellen Aufwand leicht beheben.

Über die Messgenauigkeit seiner Methode macht STUIVER keine Angaben. Da er keine technischen Daten mitteilt, kann der systematische Fehler auch nicht abgeschätzt werden. Mit Sicherheit läßt sich jedoch sagen, daß der Meßfehler bedeutend kleiner als beim NEUHAUS'schen Olfaktorimeter ist: Das von STUIVER verwandte Prinzip der Dampfsättigung weist nur einen Bruchteil des Fehlers auf, der dem von NEUHAUS angewandten Prinzip der Bestimmung des verdampften Riechstoffvolumens anhaftet.

Mit ihrer Möglichkeit zur wahlweisen exakten Regulierung von Injektionsdruck, Injektionsvolumen, Injektionszeit und Riechstoffkonzentration ist die STUIVER'sche Methode die Methode der Wahl für Geruchsversuche bei Tieren. Bei der dabei ohnehin zweckmäßigen Intubation durch ein Tracheostoma kann dem Tier leicht dieselbe Luft zum Atmen angeboten werden, wie sie als Nullreiz und zur Herstellung der Reizgemische verwendet wird. Auch beim Versuchstier würde die Riechlufte am besten über ein Nasenansatzstück (mono- oder dirhin) eingeblasen werden und durch den geöffnet zu haltenden Mund wieder austreten. Durch entsprechende Fixierung von Kopf und Mund beim narkotisierten Tier wäre für eine gleichbleibende Form und Größe von Nasenhöhlen, Nasenrachenraum und Mund-

raum gesorgt und dadurch eventuell bedingte Veränderungen des Injektionsstromes vermieden.

B) "A rational Olfactometer" von BOZZA, CALEARO und TEATINI mit der Möglichkeit zur ungestörten, freien Atmung im strömenden Reizgemisch (25).

1. Prinzip: Mit Rotametern abgemessene Ströme "reiner" Luft werden mit Riechstoffdampf gesättigt (Dampfsättigungsprinzip) und mit gemessenen Strömen "reiner" Luft gemischt (Strommischungsprinzip). Eine entsprechende, sehr aufwendige Einrichtung erlaubt:
  - a) Ein freies Atmen der Versuchsperson im Riechstoff-Luft-Gemisch
  - b) Ein Atmen der Versuchsperson in derselben "reinen" Luft, wie sie für die Herstellung der Reizgemische verwendet wird
  - c) Eine Änderung des Riechreizes im Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einatmungen der Versuchsperson
  - d) Mono- oder dirhine Untersuchungen. Die dirhine Olfaktometrie kann dabei wahlweise mit verschiedenen Konzentrationen desselben oder mit beliebigen Konzentrationen verschiedener Riechstoffe durchgeführt werden ("Homo"- oder "Hetero"-Olfaktometrie).
  - e) Eine Berücksichtigung der jeweiligen Atembedingungen der Versuchsperson durch die gleichzeitig mit der Olfaktometrie mögliche Messung

der Atemfrequenz

des Atemvolumens

des Inspirationsdruckes beim Eintritt in die Nasenöffnungen ("vordere Rhinomanometrie")

2. "Reine" Luft: Von außen angesaugte Luft wird durch Filterung und Kondensation gereinigt, in destilliertem Wasser gewaschen und auf eine regulierbare Luft-

feuchtigkeit und Temperatur gebracht. Ein Ventilator treibt die so vorbereitete, "reine" Luft in den Untersuchungsraum, wo mit Hilfe von zwei Gebläsen eine Luftzirkulation und (vollautomatisch) ein Druckausgleich gegenüber dem herrschenden Atmosphärendruck gewährleistet wird. Ein Teil der aufbereiteten Luft wird zur Herstellung der Reizgemische verwendet.

3. Einrichtung zur Herstellung der Reizgemische - Olfaktometer (Abb.24).

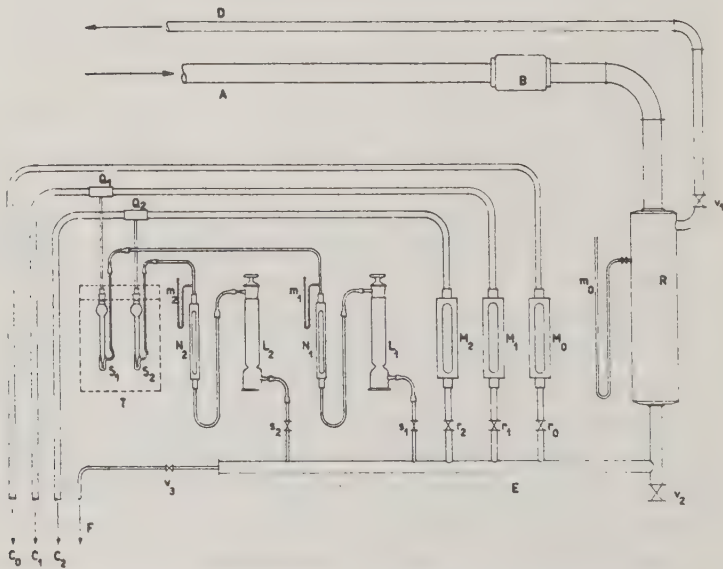


Abb.24: Diagramm des Olfaktometers nach BOZZA et al.

Über eine Rohrleitung A kommt "reine" Luft aus der Aufbereitungsanlage zu einem Ventilator B, der eine Leistung von bis zu 20 Litern/Sekunde hat. Er pumpt die Luft mit einem durch das Ventil  $v_2$  regulierbaren und am Manometer  $m_0$  ersichtlichen Überdruck von einigen 100 mm Wassersäule in einen Tank R und in die

Hauptleitung E. Aus der Hauptleitung werden drei Teilströme entnommen, die mit den Hähnen  $r_0$ ,  $r_1$  und  $r_2$  reguliert und mit den Rotametern  $M_0$ ,  $M_1$  und  $M_2$  (Messbereich bis 3,5 l/sec) gemessen werden. In der Leitung  $C_0$  strömt immer "reine" Luft zum Kanal  $C_0$  der Applikationsvorrichtung (s.u.). Wahlweise nur einen oder auch beide der über die Leitungen  $C_1$  und  $C_2$  zu den Kanälen  $C_1$  und  $C_2$  der Applikationsvorrichtung geführten Teilströme kann man mit einem Riechlufstrom mischen. Werden beide Ströme mit Riechluf gemischt, so kann man wahlweise verschiedene Konzentrationen desselben Riechstoffes oder beliebige Konzentrationen zweier verschiedener Riechstoffe verwenden. Durch die Hähnen  $s_1$  und  $s_2$  reguliert, werden dazu Reinsluftströme aus der Hauptleitung E entnommen und zunächst in die Trockentürme  $L_1$  und  $L_2$  geleitet. Darin wird der "reinen" Luft durch Adsorption an Silicagel der Wasserdampf entzogen. Dieses "Trocknen" der Luft ist notwendig, um eine Verwässerung des unverdünnten, flüssigen Riechstoffes durch eine eventuelle Adsorption von Wasserdampf zu verhindern. Die getrockneten Luftströme werden mit den Rotametern  $N_1$  und  $N_2$  (Messbereich 2-20 cm<sup>3</sup>/sec) gemessen; ihr Druck wird mit den Wassermanometern  $m_1$  und  $m_2$  bestimmt. Danach gelangen sie in die Verdampfungsröhren  $S_1$  und  $S_2$ , die nach dem System der PREGL'schen Adsorptionsgefäße konstruiert sind. Die Luftströme werden in ihnen zunächst durch den flüssigen Riechstoff geleitet. Dabei werden kleine Riechstofftröpfchen mitgerissen, die Glasperlen (ca. 3mm Durchmesser) in den "Verdampfungskammern" benetzen. Die Verdampfungsoberfläche wird dadurch erheblich vergrößert, eine Sättigung der Luftströme mit Riechstoffdampf ist so gewährleistet. Die mit Riechstoffdampf gesättigten Luftströme ziehen zu den Mischgefäßen  $Q_1$  und  $Q_2$ . In ihnen wird durch ei-

ne Verengung des Rohrlumens die sonst laminare Strömung turbulent. Eine gleichmäßige Durchmischung der "reinen" Luft mit der eingeleiteten Riechlufte wird so erreicht.

Verschiedene Riechstoffkonzentrationen in den Strömen  $C_1$  und  $C_2$  werden durch Regulierung der entsprechenden Durchflußmengen und durch Änderung der Verdampfungstemperatur erreicht. Die Verdampfungsröhren stehen zu diesem Zweck in einem Wasserbad T, in dem mit Hilfe von Heiz- und Kühlschlangen, eines Umrührers und eines Thermostaten die gewünschte Verdampfungstemperatur eingestellt und konstant gehalten wird. Werden zwei verschiedene Riechstoffe benutzt, die sehr unterschiedlich stark verdampfen, so müssen die Verdampfungsröhren eventuell in zwei getrennte und jeweils regulierbare Wasserbäder gebracht werden. Ist der Temperaturunterschied zwischen dem Wasserbad und dem Luftstrom, der mit Riechstoffdampf gesättigt werden soll, sehr groß, so wird zweckmäßigerweise der Luftstrom vor seinem Eintritt in das Verdampfungrohr durch entsprechende Einrichtungen in etwa auf die eingestellte Verdampfungstemperatur gebracht. Werden Verdampfungstemperaturen benutzt, die höher sind als die Außentemperatur, so kommt es durch Abkühlung zu einer Kondensation von Riechstoffdampf in den Leitungen zwischen den Verdampfungsgefäßen und den zugehörigen Kanälen an der Applikationsvorrichtung. Um dies zu verhindern, müssen diese Abschnitte durch eine Heizvorrichtung immer auf einer Temperatur gehalten werden, die etwas höher als die Verdampfungstemperatur ist.

Die von der Hauptleitung E abgehende Leitung F führt einen durch den Hahn  $v_3$  regulierbaren Strom "reiner", ja unter Überdruck stehender Luft zur Ventileinrichtung der Verteilerkammer, die durch ihn "pneumatisch"

in die gewünschte Stellung gebracht wird (s.u.).

4. Applikationsvorrichtung, die ein freies Atmen im Riechlufstrom ermöglicht.

Atmet eine Versuchsperson in einem abgeschlossenen, gleichmäßigen Luftstrom, so nimmt dessen Fließmenge pro Sekunde bei jedem Einatmen ab und bei jedem Ausatmen zu. Bei 16 - 18 Atemzügen pro Minute mit einem Atemvolumen von je  $500 \text{ cm}^3$ , atmet die Versuchsperson rund  $300 \text{ cm}^3/\text{sec}$  ein oder aus. Postuliert man nun, daß sich die Fließmenge des Luftstromes durch das Ein- und Ausatmen der Versuchsperson um nicht mehr als  $\pm 20 \%$  ändern darf, so muß die erforderliche Fließmenge des Luftstromes mindestens  $1500 \text{ cm}^3/\text{sec}$  betragen. Um mit Sicherheit keine größere Änderung als  $\pm 20 \%$  zu erhalten, wird eine Fließmenge von  $2000 \text{ cm}^3/\text{sec}$  für jede der drei das Reizgemisch zuführenden Leitungen  $C_0$ ,  $C_1$  und  $C_2$  gefordert.

Ein verfälschender Einfluß durch Geschwindigkeit und Richtung des Luftstromes (in Bezug auf die Nase der Versuchsperson) kann sich bei einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von nur  $10 \text{ cm}/\text{sec}$  und einer Strömungsrichtung von unten nach oben nicht bemerkbar machen. Einem Luftstrom von der geforderten Größe  $2000 \text{ cm}^3/\text{sec}$  muß - soll er mit einer Geschwindigkeit von  $10 \text{ cm}/\text{sec}$  von unten nach oben strömen - also ein senkrecht stehender Messkanal mit einer Querschnittsfläche von  $200 \text{ cm}^2$  zur Verfügung gestellt werden.

An einer entsprechend geformten Öffnung der Vorderwand dieses Messkanals presst die Versuchsperson ihr Gesicht fest auf eine Abdichtung aus nicht riechendem Gummi oder ähnlichem Material. Mund und Nase ragen dann ein wenig in das Lumen hinein. Um die entsprechende Gesichtsöffnung anbringen zu können, muß die Vorderseite des Messkanals  $20 \text{ cm}$  breit sein; bei der

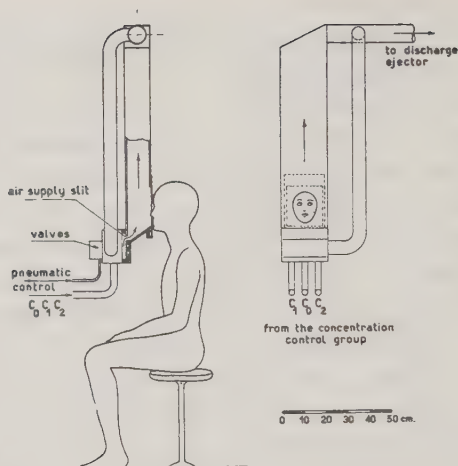


Abb.25: Applikationsvorrichtung des Olfaktometers nach BOZZA, CALEARO und TEATINI (25).

geforderten Querschnittsfläche von  $200 \text{ cm}^2$  errechnen sich also 10 cm für die Tiefe des Messkanals. Um die Versuchsperson beobachten zu können, ist in die Rückfläche des Messkanals - gegenüber der Gesichtsöffnung - eine Glasscheibe eingesetzt.

Pro Sekunde führen die Leitungen  $C_0$ ,  $C_1$  und  $C_2$  (Durchmesser je 3 cm) jeweils einen Strom von 2000 ccm vom Olfaktometer zu einer Verteilerkammer. Sie hat einen Austrittsschlitz von  $20 \times 2 \text{ cm}$  und ist durch ein keilförmiges Übergangsstück mit dem unteren Ende des Messkanals verbunden. Durch ein entsprechend geformtes Übergangsstück wird am oberen Ende des Messkanals der Querschnitt von  $200 \text{ cm}^2$  auf ebenfalls  $40 \text{ cm}^2$  reduziert, so daß Ein- und Austrittsöffnung des Messkanals gleich groß sind. An dieses obere Übergangsstück schließt sich eine zu einem Ventilator führende Röhre an. Durch den Teilstrom F der "reinen", unter Überdruck

stehenden Luft (s.o.) kann eine "pneumatische" Ventileinrichtung an der Verteilerkammer so gestellt werden, daß jeweils einer der drei zuführenden Ströme in die Verteilerkammer und den Messkanal fließen kann. Für die jeweils übrigen zwei der drei Ströme stellt die Ventileinrichtung gleichzeitig eine Verbindung zu einer Abflußröhre her. Durch diese werden sie am Messkanal vorbeigeführt und in die Röhre für den oben am Messkanal austretenden Luftstrom eingeleitet. Durch entsprechende Regulierung des damit verbundenen Ventilators muß der Druck im Innern des Messkanals auf Atmosphärendruck eingestellt werden. Zur Kontrolle dient ein an den Messkanal angeschlossenes Wassermanometer. Die Verteilerkammer und das untere Übergangsstück zum Messkanal sind so bemessen, daß ihr Volumen und das des Messkanals bis zur Nasenhöhe der Versuchsperson zusammen etwa 1700 ccm beträgt. Bei einer Fließmenge von 2000 ccm/sec werden diese 1700 ccm alle 0,85 Sekunden erneuert.

Nimmt man nun an, daß die Versuchsperson 18 mal in der Minute ein- und ausatmet, so stehen bei einem (sehr groß) angenommenem Atemquotienten von 1:1 (d.h.: Inspirationszeit/Expirationszeit = 1:1) für jede Ausatmung mindestens 1,6 Sekunden zur Verfügung. Wird also am Ende einer Einatmungsphase am pneumatischen Ventil ein anderer Luftstrom als zuvor mit dem Messkanal verbunden, so kann das Volumen von der Verteilerkammer bis zur Nase der Versuchsperson leicht im verbleibenden Intervall bis zum Beginn der nächsten Einatmung mit der neuen Riechlufte angefüllt werden. Bei der darauf folgenden Inspiration erhält die Versuchsperson mit Sicherheit also nur Riechlufte aus dem neu eingestellten Strom.

#### 5) Untersuchungskabine.

Durch undichte Stellen und durch die Gesichtsöffnung

am Messkanal wird immer etwas Riechstoff in den Untersuchungsraum gelangen. Sie rasch und zuverlässig zu entfernen würde einen kostspieligen technischen Aufwand für die Belüftung des Untersuchungsraumes erfordern. BOZZA et al. haben deshalb den Messkanal in eine Seitenwand einer 1,2 x 1,4 m großen Untersuchungskabine eingebaut, in der die Versuchsperson sitzt. Sie ist (wie alle übrigen Teile der gesamten Apparatur) aus nicht riechendem Material gebaut (Sicherheitsglas und Polyäthylen). Die Kabine kann leicht gereinigt werden, ist luftdicht verschließbar und wird unabhängig vom übrigen Untersuchungsraum in den Intervallen zwischen den einzelnen Messungen mit "reiner" Luft aus der Luftaufbereitungsanlage durchströmt.

- 6) Einrichtung zur Bestimmung der jeweiligen Atembedingungen. Durch ein fest auf der Nase sitzendes "Nasenstück" aus nicht riechendem Gummi können die beiden Nasenöffnungen völlig voneinander getrennt werden. Auf jeder Seite dieses Nasenstückes befindet sich eine Öffnung, die mit einem nur bei Einatmung durchlässigen Ventil versehen ist. Beide sehr klein gehaltenen Hohlräume des Nasenstückes sind getrennt mit je einem Manometer verbunden, das einen Messbereich von -25 bis +25 mm Wassersäule hat und den mittleren Druck des Inspirationsstromes an den Nasenöffnungen anzeigt.
- Von einem dicht abschließenden Mundstück führt eine Verbindung mit einem nur bei Ausatmung durchlässigen Ventil zu einem Spirometer. In ihm wird bei jeder Ausatmung die Menge der Ausatemungsluft gemessen und in Abhängigkeit von der Zeit automatisch registriert.

7) Untersuchungsmöglichkeiten:

- a) dirhine Untersuchungen werden bei freiem Atmen im Riechlufstrom des Messkanals durchgeführt;

- b) bei monorhinen Untersuchungen wird entweder eine Nasenöffnung dicht verschlossen und frei im Messkanal geatmet oder bei aufgesetztem Nasenstück das Inspirationsventil auf einer Seite blockiert;
- c) will man dichorhine Untersuchungen durchführen, so müssen die Einlassöffnungen des aufgesetzten Nasenstückes mit den Lumina zweier getrennter Messkanäle verbunden werden. Man kann dann wahlweise verschiedene Konzentrationen desselben Riechstoffes oder beliebige Konzentrationen zweier verschiedener Riechstoffe auf jeder Seite einatmen lassen.

#### 8) Gesamtanordnung der Apparatur.

Im Raum A sind alle Maschinen und Geräte untergebracht. Über die Leitung a wird Außenluft angesaugt und zur Aufbereitungsanlage 5 geführt. Aus ihr gelangt "reine" Luft über Leitung b einmal zum Olfaktometer 1, zum größten Teil jedoch in die Untersuchungskabine 4 und in den Untersuchungsraum B. Mit Hilfe einer Ventilationseinrichtung 6 wird die Untersuchungskabine und der Untersuchungsraum belüftet. Vom Olfaktometer führen drei Leitungen c zum Messkanal und von dort über die Leitung e ins Freie. Durch die Leitung d können Nasen- und Mundstück mit den Manometern 3 und dem Spirometer 2 verbunden werden. Im Untersuchungsraum B sitzt der Versuchsleiter 7. Er kann über eine Signalisieranlage Anordnungen an den "Maschinisten" im Raum A und an die Versuchsperson in der Untersuchungskabine geben.

Das Prinzip, die Versuchsperson in einem Riechlufstrom frei atmen zu lassen, hat 1955 bereits WENZEL (204) angewandt. Sie baute sich zu diesem Zweck eine Kammer aus Plexiglas (35·35·45 cm). Der Versuchsperson wurde eine

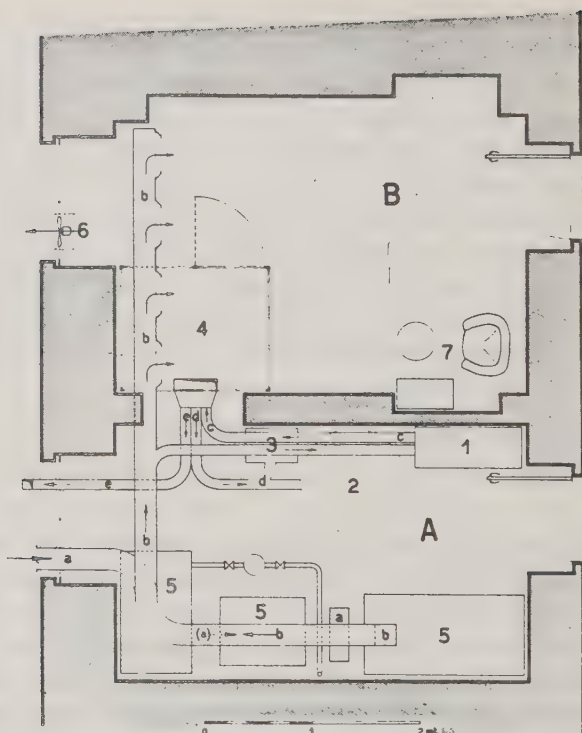


Abb.26: Gesamtanordnung der Apparatur nach BOZZA, CALEARO und TEATINI (25).

Tüte aus Plastikmaterial über den Kopf gestülpt und eine Öffnung darin dicht an der Oberlippe, den Nasenflügeln und der Nasenspitze so festgeklebt, daß lediglich die Nasenöffnungen Verbindung mit dem Raum außerhalb der Tüte hatten. Der so vorbereitete Kopf der Versuchsperson wurde durch eine Öffnung im Boden der Kammer gesteckt, die danach abgedichtet wurde. Durch die oben angebrachte Eintrittsöffnung (5,3 cm im Durchmesser) wurde ein Luftstrom mit einer Fließmenge von etwa 13 feet /Min. (also rund 360 cm<sup>3</sup>/Min.) eingeblasen, der durch eine Öffnung am Boden der Kammer wieder austrat. Die Fließmenge wird

so einreguliert, daß in dem Kasten ein geringer Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck herrscht, mit Sicherheit also keine Außenluft in die Kammer eindringen kann. Zur Riechlufzubereitung wird durch eine Klimaanlage aufbereitete "reine Luft" mit konstanter Temperatur und konstantem Feuchtigkeitsgehalt verwendet. Dieselbe Luft dient als "Nullreiz", wird also durch den Kasten geleitet, solange kein Reiz verabreicht wird. Zur Herstellung der Riechgasgemische wurde die oben beschriebene Methode der Autorin so modifiziert, daß ein konstanter Riechlufstrom bekannter Konzentration mit leichtem Überdruck von der Apparatur freigegeben wird. Durch eine elektronische Zeitmessanlage reguliert, kann der Riechlufstrom in die Kammer eingeleitet werden. Aus der bekannten Konzentration, dem bekannten "Restvolumen" der Kammer (Kammervolumen minus Volumen des Kopfes der Versuchsperson) und der bestimmten Fließzeit des Riechlufstromes bis zum Auftreten einer Schwellenwahrnehmung hat WENZEL die Schwellenkonzentration in "Molekülen pro Kubikzentimeter" in der Kammer errechnet.

Die Methode ist bei weitem nicht so genau wie die von BOZZA et al.. Bei der sehr niedrigen Strömungsgeschwindigkeit der Riechluf in der Kammer ist keine gleichmäßige Durchmischung des Kammerinhaltes gewährleistet. Zudem entstehen in der Kammer durch den - ins freie Ermessen der Versuchsperson gestellten - Atemmodus Wirbel und turbulente Strömungen verschiedenen Ausmaßes, die die Schwellenkonzentration erheblich beeinflussen.

Sowohl die Methode von WENZEL als auch die von BOZZA et al. sind letztlich Versuche die hohen Bau- und Unterhaltungskosten zu vermeiden, die ein leistungsfähiges "Olfaktorium" mit sich bringt.

Mit großem technischen Aufwand wurden solche Olfaktorien - also Räume mit möglichst gleichmäßiger, kontrollierter

Riechstoffkonzentration, in denen die Versuchsperson frei atmet - vorallem in den USA hergestellt (z.B. 61, 173). Wenn man die unvermeidlichen Fehlermöglichkeiten solcher Einrichtungen bedenkt - nie genau gleichmäßige Durchmischung des Raumes, Adsorption von Riechstoff an den Wänden des Olfaktoriums und an der Versuchsperson, immer nur unvollständig mögliche "Desodorierung" des Olfaktoriums nach jedem Versuch etc. etc. - scheint der enorme Aufwand an Zeit und Geld in keinem Verhältnis zum Gewinn zu stehen. Daß die Versuchsperson zudem nach eigenem Ermessen "frei" atmen und nach Belieben auch schnüffeln darf, hat einen größeren Einfluß auf die Schwellenwerte, als gemeinhin angenommen wird. Das zeigt die alltägliche Erfahrung, daß eine unterschwellige Riechkonzentration durch rasch hintereinander wiederholtes Schnüffeln "über die Schwelle gehoben" werden kann. Allein die physiologischen und psychologischen Gegebenheiten der Versuchsperson zur Versuchszeit bedingen eine mit durchschnittlich auf 30 - 40 % geschätzte Verfälschung der wahren Schwellenwerte. Grund genug, jede weitere unkontrollierte Veränderung des wirksam werdenden Geruchsreizes nach Möglichkeit zu vermeiden.

LE MAGNEN hat bereits 1942 die Injektionsmethoden abgelehnt und bei seinen Geruchsversuchen frei in einem Riechstoffgemisch mit bekannter Konzentration atmen lassen (112). Eine Regulierung des als so wichtig erkannten Druckes, mit dem ein Geruchsreiz verabreicht wird, versuchte er, durch eine Regulierung der Atemgeschwindigkeit zu erreichen. Er ersann zu diesem Zweck eine originelle Kontrollmöglichkeit: Der Inspirationsstrom wird durch eine Pfeife geleitet, die je nach der Inspirationsgeschwindigkeit einen Ton verschiedener Frequenz von sich gibt. LE MAGNEN gibt eine sogenannte "optimale Empfindlichkeit" des Geruchssinnes bei einer bestimmten Inspirationsgeschwindigkeit an. Sie entspricht einer

bestimmten Pfeifentönhöhe. Durch Regulierung der Einatmungsgeschwindigkeit muß die Versuchsperson versuchen, diesen Pfeifenton zu erzeugen. Zur Erleichterung wird ihr dazu mit einem Kopfhörer der erwünschte Ton auf das eine, der tatsächliche Pfeifenton auf das andere Ohr gegeben.

Das Problem, die einflußreiche Inspirationsgeschwindigkeit zu kontrollieren, ist damit sicherlich nicht gelöst, sondern lediglich durch ein anderes ersetzt. Und gelänge es einer Versuchsperson selbst spielend, die Inspirationsgeschwindigkeit auf den gewünschten Ton einzuregulieren ( so daß also keine allzugroße ansonsten zu erwartende Verfälschung der Messwerte durch Aufmerksamkeitsverlagerung eintrete), dann würde die Untersuchung doch keinesfalls unter den angestrebten Bedingungen eines "freien, normalen Atmens" durchgeführt werden.

Die Kombination vom freiem Atmen in einem Riechlufstrom bekannter Konzentration mit einer gleichzeitigen Kontrollierung des Atemvolumens, der Atemfrequenz und des Inspirationsdruckes - wie sie von BOZZA et al. verwirklicht wurde - kann als die Methode der Wahl für psycho-physische Versuche angesehen werden. Sie ist kostspielig, erfordert viel Raum und eine aufwendige Wartung. Die Injektionsmethode - wie sie z.B. von STUIVER (182) technisch vollendet wurde - erreicht letztlich dasselbe Ziel, jedoch mit viel geringerem Aufwand. Der Einwand, bei der Einblastechne würde der Geruchsreiz auf "unnatürliche" Weise verabreicht, kann mit demselben Recht z.B. auch gegen die Applikation von Hörreizen über einen Kopfhörer bei der Audiometrie vorgebracht werden. Und doch ist gerade dieses "unnatürliche" Verfahren einer standartisierten Gehörreizverabreichung zur Grundlage und zum Ausgangspunkt des so reichen Wissens vom menschlichen Gehörsinn geworden.

Kapitel V: "Objektive" Olfaktometrie - Verfahren zur Messung von Geruchsintensitäten auf Grund physikalischer und chemischer Eigenschaften der Riechstoffe.

V.1: "Objektive" Olfaktometrie.

Alle im psycho-physischen Versuch gewonnenen Messwerte über eine Sinnesleistung sind "subjektiv" und bleiben es trotz aller apparativen Versuchsverfeinerungen auch solange, wie man auf die Mitarbeit der Versuchsperson angewiesen ist. Wie bei anderen menschlichen Sinnen hat es auch beim Geruch nicht an Versuchen gefehlt, Korrelationen zwischen "objektiven" und messbaren "Nebenwirkungen" bei einer Geruchsreizung und der Stärke des Geruchsreizes aufzustellen. Die kontrollierte Verabreichung eines kontrollierten Geruchsreizes ist dazu eine grundlegende Voraussetzung. Eine zweite wird häufig nicht beachtet: Auch bei den "objektiven", messbaren Nebenwirkungen ist eine - wenn auch passive - "Mit"-Arbeit der Versuchsperson erforderlich. Sie muß dazu bereit sein, die Untersuchungsprozedur einmal willig über sich ergehen zu lassen, zum anderen nicht durch "Gegen"-Arbeit zu stören. Erfahrungen z.B. mit dem "autogenen Training" (175) haben gezeigt, wie sehr gerade solche Organfunktionen, deren Veränderungen durch Geruchsreize zur "objektiven" Olfaktometrie benutzt werden, durch eine bewußte oder auch unbewußte "inne-

re Konzentration" beeinflusst werden können.

- A) Sogenannte "Objektive Olfaktometrie" auf Grund messbarer Nebenwirkungen von Geruchsreizungen.

Alle seither dazu unternommenen Versuche beruhen auf der Auslösung von Reflexreaktionen des menschlichen oder tierischen Organismus durch Geruchsreize. Sie wurden bisher fast durchwegs mit ungenügend kontrollierten Geruchsreizen durchgeführt. Eine Vielzahl von Untersuchungen mit den verschiedensten Reflexreaktionen wurden seither durchgeführt. Sie sollen hier nicht näher besprochen werden.

- B) Objektive Olfaktometrie durch direkte oder indirekte Potentialableitungen.

Nachdem es schon vor vielen Jahren gelungen ist, Aktionspotentiale von den peripheren Riechnerven, vom Bulbus und (direkt) vom Cortex abzuleiten, ist - wenigstens im Tierversuch - die Möglichkeit einer objektiven Olfaktometrie in greifbare Nähe gerückt. Nach vielen Fehlschlägen melden AMOORE et al. (9) erste Erfolge in qualitativer Hinsicht: R.C.GESTELAND ist es gelungen, beim Frosch Aktionspotentiale von 8 verschiedenartigen Riechrezeptortypen abzuleiten, von denen 5 auf "Primärgerüche" (nach AMOORE et al.) erregt werden.

Quantitativ und qualitativ wird die indirekte Registrierung objektiver, von der Geruchsintensität abhängender Begleiterscheinungen von Geruchsreizungen im EEG mit großer Wahrscheinlichkeit bald eine objektive Olfaktometrie ermöglichen: Schon 1962 haben BARTALENA und ROMEO (16,17) mit den subjektiven Empfindungen der Versuchspersonen übereinstimmende charakteristische EEG-Veränderungen nach Geruchsreizungen nachweisen können. Es erscheint sehr aussichts-

reich, die Verfahren, die erst vor kurzem bei einer objektiven Audiometrie mit Hilfe des EEG so erfolgreich waren, auch in der weiteren Entwicklung der objektiven Olfaktometrie anzuwenden:

Für sinusförmige Hörreize verschiedener Frequenz gestattet ein im Erlanger Physiologischen Institut entwickeltes Verfahren der elektronischen Mittelung mit Hilfe eines Computers, die störende Spontanaktivität des Hirnstrombildes zu eliminieren und die als Reizfolge auftretenden "evoked potentials" im EEG als Grundlage für eine objektive Audiometrie sichtbar zu machen.

Für akustische Reize mit Serien von 1000 Clicks/sec konnten G.THEISSING und J.THEISSING in der Erlanger Hals-Nasen-Ohrenklinik so charakteristische, die Spontanaktivität überlagernde EEG-Veränderungen nachweisen, daß mit dem "Audio-EEG" eine zuverlässige objektive Untersuchungsmethode für die praktische Beurteilung des Hörvermögens gegeben ist (190).

Für eine erfolgversprechende objektive Olfaktometrie mit Hilfe eines "Olfakto-EEG" haben - neben den bereits früher erwähnten Autoren - in den letzten Jahren FORTUNATO und NICCOLINI (59,60), ARCHILEI und MORETTI (10) und BARTALENA und ROMEO (16,17) wertvolle Grundlagenarbeit geleistet.

#### V.2: Verfahren zur qualitativen und quantitativen Messung von Riechstoffen auf Grund physikalischer und chemischer Eigenschaften.

Für die im psycho-physischen Versuch durchgeführten Geruchsuntersuchungen ist die mit Hilfe der Einrichtungen von STUIVER und BOZZA et al. erreichte Kontrolle über den Geruchsreiz bei weitem ausreichend. Eine noch grössere Genauigkeit über den Reiz für psycho-physische Untersuchungen zu fordern oder anzuwenden ist nicht sinn-

voll: Die Genauigkeit der Messwerte ist ja in hohem Maße abhängig von den "subjektiven" Antworten der Versuchsperson und von ihrem jeweiligen physiologischen und psychologischen Zustand. Selbst für eventuelle Untersuchungen mit einer objektiven Olfaktometrie kann - nach dem heutigen Wissensstand - keine Messmethode letztlich mehr liefern, als es z.B. die STUIVER'sche tut: Eine möglichst exakte Angabe der auf die Geruchsrezeptoren auftreffenden Anzahl der Riechmoleküle als "Ersatz-Maß" für den noch unbekannten adäquaten Geruchsreiz.

Zahlreiche Messmethoden auf Grund physikalisch-chemischer Eigenschaften der Riechstoffe wurden hauptsächlich deshalb entwickelt, um entweder der Grundlagenforschung oder praktischen Zwecken zu dienen (z.B. der Messung von Luftverunreinigungen). Einige sollen hier erwähnt werden.

- A) Prinzipiell können alle in der analytischen Chemie entwickelten Verfahren für die Bestimmung von Riechstoffen angewandt werden. Es kommen in Frage:

Die Gaschromatographie (die z.B. von AMOORE, JOHNSTON und RUBIN (9) zur Kontrolle der Riechkonzentration benutzt wird),

Massenspektrometrie,

Optische oder Absorptionsspektrometrie,

Emissionsspektrometrie - und vieles mehr.

Von größerer Bedeutung könnten auch radioaktiv markierte Riechstoffe für die Erforschung und Messung von Geruchsleistungen werden. Ihre Verwendung zu solchen Untersuchungen wirft jedoch viele Probleme auf. LE MAGNEN scheint in jüngster Zeit einen gangbaren Weg für Geruchsmessungen mit radioaktiven Riechstoffen gefunden zu haben (zit.n.(40)).

- B) Das "elektronische Olfaktometer" von CASTELLO mit der "elektronischen Nase" (30).

In einem nach dem Strommischungsprinzip aufgebauten Olfaktometer wird die Geruchsintensität mit einer von der "General Electric Corporation" in den USA zum Aufspüren lecker Stellen von Kompressorkühlschränken entwickelten "elektronischen Nase" gemessen. Sie ist nur für Riechstoffe anwendbar, die Halogene enthalten. Das zugrundeliegende Prinzip besteht darin, daß Gase in Abhängigkeit vom Grad ihrer Ionisation verschieden gute elektrische Leiter sind und daß Halogene die Ionisation eines Gases proportional zu ihrer molaren Konzentration verstärken.

Aufbau und Wirkungsweise der "elektronischen Nase": In einem inneren Zylinder befindet sich ein weißglühender Platindraht als Kathode, ein äußerer Zylinder dient als Anode. Zwischen den Zylindern fließt ein durch ein Mikro-Ampèremeter messbarer Strom. Werden Riechgase mit Halogenen zwischen den beiden Zylindern hindurchgeleitet, so nimmt die gemessene Stromstärke proportional zur Anzahl der im Gas enthaltenen Halogenmoleküle zu.

Unter anderem hat PALLESTRINI mit diesem "elektronischen Olfaktometer" Messungen beim Menschen durchgeführt. Die Genauigkeit der Messwerte ist jedoch - wie bei allen subjektiven Methoden - wesentlich von der Mitarbeit der Versuchsperson abhängig.

- C) Die Änderung der Oberflächenspannung von Flüssigkeitstropfen durch Riechstoffe - "Odocell".

Die Form eines hängenden Flüssigkeitstropfens ist von seiner Oberflächenspannung abhängig. Mit einem "Odocell" genannten Gerät hat 1949 TANYOLAÇ (185,186) die Formänderung hängender Tropfen in Abhängigkeit von der Riechstoffkonzentration der umgebenden Luft registriert und ausgemessen.

Diese Methode wurde vor allem zu vergleichenden Unter-

suchungen bei desodorierenden Stoffen angewandt (28, 43).

- D) Die Änderung von elektrischen Oberflächenladungen durch Riechmoleküle - "Electro-Odocell" (187) (Abb.27).

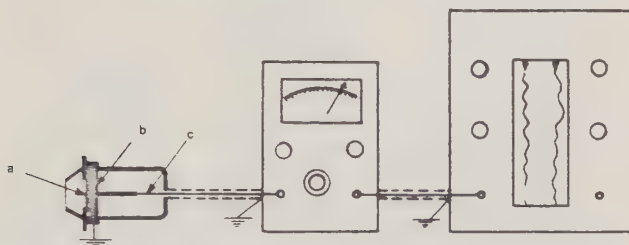


Abb.27: "Electro-Odocell" nach TANYOLAÇ (schematisch).

Auf eine "sensitive" Oberfläche a eines Detektors, die aus Diëlektrika (Glas, Plastikmaterial, Papier o.ä.) besteht, treffen Riechmoleküle. Durch die Adsorption werden Spannungsänderungen am Detektor verursacht, die von der die sensitive Oberfläche berührenden elektrisch leitenden Schicht aus Kupfer oder Silber und ein abgeschirmtes Kabel c zu einem Micro-Voltmeter geleitet werden. Die von der Art und der Menge der auftretenden Moleküle abhängigen Spannungsänderungen werden automatisch von einer Registriereinrichtung als Funktion der Zeit registriert.

Interessanterweise haben 5 (in gleicher molarer Konzentration untersuchte) Vertreter je eines der 7 Primärgerüche nach AMOORE, JOHNSTON und RUBIN (9) mit dem "Electro-Odocell" Kurven ergeben, deren Endwerte (nach 15 Minuten) sich auffallend stark voneinander unterscheiden (Abb.28).

Man kann daraus schließen, daß die Primärgerüche sich "wesentlich" voneinander unterscheiden. Mit anderen Worten ermöglicht es diese klare Trennung der Kurven voneinander, die anderen Gerüche zwischen diesen Primärgerüchen einzuordnen (187).

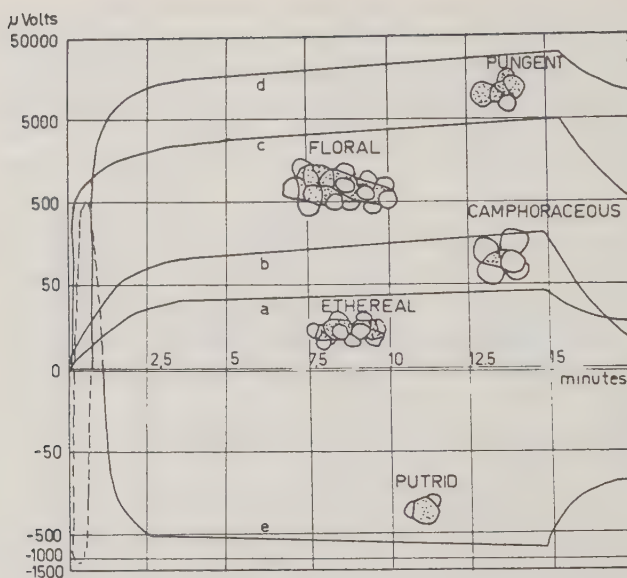


Abb.28: Kurven für 5 Primärgerüche nach AMOORE, JOHNSTON und RUBIN (nach TANYOLAÇ (187)).

Auch dieses Ergebnis der Electro-Odocell-Untersuchungen darf als Bestätigung für die Stereochemische Riechtheorie gewertet werden.

Mit dieser Riechtheorie scheint die Kardinalfrage des menschlichen Geruchssinnes gelöst, der adäquate Geruchsreiz seinem Wesen nach erkannt zu sein. Die kommenden Jahre werden aller Voraussicht nach eine stürmische Entwicklung auf dem Gebiet der Geruchsforschung bringen. Umso notwendiger erschien es deshalb, sich über die Methoden der Geruchsmessung einen kritischen Überblick zu verschaffen.

## Z U S A M M E N F A S S U N G

Im Gegensatz zu den meisten anderen menschlichen Sinnen ist der adäquate Reiz des "primitiven" Geruchssinnes bisher nicht bekannt. Neben einer Reihe anderer - in der Arbeit nur zum Teil und nur kurz erwähnten - Gründen, ist dies die Hauptursache dafür, daß von den physiologischen und psychologischen Problemen des Geruchssinnes im Vergleich zu den "höheren" menschlichen Sinnen nur sehr wenig bekannt ist.

Das Hauptziel der Arbeit ist, die bisher zur Prüfung und Messung der Leistungen des menschlichen Geruchssinnes angewandten Methoden kritisch darzustellen. Dies kann nur dann sinnvoll geschehen, wenn die einzelnen Methoden daraufhin überprüft werden, ob und inwieweit sie den derzeit bekannten Eigenschaften des menschlichen Geruchssinnes Rechnung tragen. Da in der neueren Literatur keine zusammenfassende Darstellung der Geruchskennntnisse vorliegt, wird eine kurze Aufstellung der für die Geruchsmessung wichtigsten Ergebnisse gegeben (Kapitel II). Daraus werden die für eine exakte Prüfung und Messung von Geruchsleistungen zu fordernden Bedingungen abgeleitet und zusammengestellt (Kapitel III).

Nach dem zugrundeliegenden Prinzip werden die bewährten und irgendwie interessanten Geruchsmessungsmethoden in 4 Gruppen eingeteilt und je nach ihrer praktischen Bedeutung mehr oder weniger ausführlich besprochen.

Zwei nach dem derzeitigen Kenntnisstand "vollkommene" Methoden - die von STUIVER (als Beispiel der Injektionstechnik) und die von BOZZA, CALEARO und TEATINI (als Beispiel des freien Atmens im Riechlufstrom) werden eingehend dargestellt (Kapitel IV).

Durch neuere Forschungen - vor allem durch die direkte und indirekte Ableitung von Reizfolgeströmen - ist die Möglichkeit einer objektiven Olfaktometrie, z.B. in Form eines "Olfakto-EEG", in greifbare Nähe gerückt. - Physikalische und chemische Eigenschaften der Riechstoffe werden immer mehr zur Intensitätsbestimmung von Geruchsreizen benützt (Kapitel V). Dies hat bereits zu einer interessanten und für die Grundlagenforschung eventuell bedeutsam werdenden Erkenntnis geführt: Die nach der "Stereochemischen Riechtheorie" von MONODIEFF durch die amerikanische Forschergruppe AMORE, JOHNSTON und RUBIN aufgezeigten "Primärgerüche" verhalten sich bei der Untersuchung mit dem "Electro-Odocell" nach TANYOLAÇ so gegensätzlich, daß die geforderte "wesentliche" Verschiedenheit als gegeben angesehen werden kann. Unter anderem auch dadurch wird die heutzutage allgemein anerkannte Forderung nach verschiedenen Typen von Riechreceptoren bekräftigt.

Es ist zu erwarten, daß vor allem durch - erst seit kurzer Zeit mögliche - elektrophysiologische Untersuchungen des Geruchssinnes in naher Zukunft eine stürmische Entwicklung einsetzen und daraus ein Gewinn an Grundlagenkenntnis des Geruchssinnes resultieren wird - so wie dies durch den Aufschwung der Sinnesphysiologie infolge der Entwicklung und Anwendung elektrophysiologischer Untersuchungsmethoden auch bei anderen menschlichen Sinnen der Fall war. Umso notwendiger erschien es deshalb, sich über die seither angewandten und zur Verfügung stehenden Methoden der Geruchsmessung einen kritischen Überblick zu verschaffen.

## L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- 1 ADRIAN, E.D., and LUDWIG, C.: Nervous discharge from olfactory organs of fish. Journ. of Physiol. 94 (1938) 441-460
- 2 ADRIAN, E.D.: Olfactory reactions in the brain of the hedgehog. Journ. of Physiol. 100 (1942) 343-361
- 3 ADRIAN, E.D.: The sense of smell. Advanc. of Sci. 4 (1948) 287-292
- 4 ADRIAN, E.D.: Electrical activity of the mammalian olfactory bulb. Journ. electroenc. clin. neurophysiol. 2 (1950) 377-388
- 5 ADRIAN, E.D.: Olfactory discrimination. Année psychol. 50 (1950) 107-113
- 6 ADRIAN, E.D.: Olfactory adaptation. Journ. of Physiol. 112 (1950) 38
- 7 ADRIAN, E.D.: Sensory messages and sensation. The response of the olfaction organ to different smells. Acta physiol. scand. (Stockh.) 29 (1953) 5-14
- 8 ADRIAN, E.D.: The mechanism of olfactory stimulation in the mammal. Advanc. of Sci. 9 (1953) 417-420
- 9 AMOORE, J.E., JOHNSTON, J.W. jr. and RUBIN, M.: The stereochemical theory of odor. Scient. Americ. 210 (Febr. 1964) 42-49  
"Genehmigter Nachdruck in deutscher Übersetzung von Prof. Dr. Nerdel" in Umschau 1964 Heft 19
- 10 ARCHILEI, G. e MORETTI, E.: Olfattometria e Elettroencefalometria. Valsalva 34 (1958) 201
- 11 ARONSOHN, E.: Untersuchungen zur Physiologie des Geruchs. Arch. Anat. und Physiol., Physiol. Abtlg. 1886, 321
- 12 BACKMAN, E.L.: Experimentella Undersökningar öfver Luktssinnets Fysiologi. Uppsala Läk. för. Förh. 22 (1917) 319-470

- 13 BAILEY, E.H.S. and POWELL, L.M.: Some special tests in regard to the delicacy of the sense of smell. *Transact. Can. Acad. Sci.* 9 (1884) 100
- 14 BAILEY, E.H.S. and NICHOLS, L.: The sense of smell. *Nature* 35 (1886) 74
- 15 BARTALENA, G. e VAGLINI, F.: Rinomanometria e olfattometria. (Loro rapporti sotto l'influenza di farmaci neurovegetativi usati localmente e per via generale). *Boll. Mal. Orecch.* 74 (1956) 631-647
- 16 BARTALENA, G. e ROMEO, G.: Olfattometria ematogena elettroencefalografica in soggetti normali. *Boll. Mal. Orecch.* 80 (1962) 14-23
- 17 BARTALENA, G. e ROMEO, G.: Sulla fisiogenesi dell'olfazione ematogena. *Studio elettroencefalografico.* *Boll. Mal. Orecch.* 80 (1962) 24-31
- 18 BEAUNIS, H.: Sur la comparaison du temps de réaction des différentes sensations. *Rev. phil.* 15 (1883) 615
- 19 BEDNAR, M. und LANGFELDER, O.: Über das intra-venöse (hämatogene) Riechen. *Mscr. Ohrenheilk.* 64 (1930) 1133-1139
- 20 BEHNKE, A.R.: Introduction to Basic Odor Research Correlation. *Ann. New York Acad. Sci.* Vol. 58 (1954), Art. 2, 15-21
- 21 BEIDLER, L.M.: Physiological problems in odor research. *Ann. New York Acad. Sci.* Vol. 58 (1954) Art. 2, 52-57
- 22 BOCCA, E. and BATTISTON, N.: Odour perception and environment conditions. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) 57 (1964) 391-400
- 23 BOCCUZZI, V.: Fenomeni di senescenza nell'olfatto. *Boll. Mal. Orecch.* 80 (1962) 654-665
- 24 BÖRNSTEIN, W.: Über den Geruchssinn II. Zur Methode der Geruchsprüfung unter besonderer Berücksichtigung der klinischen Bedürfnisse. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* 104 (1928) 78-91
- 25 BOZZA, G., CALEARO, C. and TEATINI, G.P.: On the making of a rational olfactometer. *Acta oto-laryngol.* (Stockh.) 52 (1960) 190-209
- 26 BRUNETTI, F.: Tentativi di valutazione della permeabilità alveolare con sostanze odorifere somministrate per via diapneumatica. *Minerva otorinolaring.* (Torino) 8 (1958) 379-381

- 27 BRUNETTI, F.: Il meccanismo della sensazione olfattiva e le moderne ricerche olfattometriche. *Minerva otorinolaring.* (Torino) 10 (1960) 249-252
- 28 CAMPBELL, A., AHMED, Z.F., CHRISTIAN, J.E. and EATON, J.R.: A study in the measurement of odors and the deodorizing effect of certain materials. *J. Amer. Pharm. Assoc. Sci. Ed.* 42 (1953) 242-257
- 29 CANNAVO, C.: Olfatto e tubercolosi polmonare. *Otorinolaring. ital.* 29 (1960) 146-156
- 30 CASTELLO, R.: Principes de l'olfactomètre électronique. *Proc. of 5. Internat. Congr. of Oto-Rhino-Laryng.* 1955, 164-166 und: *Olfattometria elettronica.* 38. Congr. Soc. ital. L.O.R. Roma 1950
- 31 CHEESMAN, G.H. and MAYNE, S.: Adaptation in sense of smell. *Quart. J. exp. Psychol.* 5 (1953) 22
- 32 CLUZEL, J.C.J.: Contribution de l'olfactometrie à l'étude de quelques syndromes endocriniens. *Thèse, Marseille* 1964
- 33 COHN, G.: *Die Riechstoffe.* Braunschweig, Vieweg. 1. Aufl. 1904, 2. Aufl. (mit F. RICHTER) 1924
- 34 CUVIER, G.: *Leçons d'Anatomie Comparée.* Baudoin. Paris 1799-1805
- 35 DAM, C. van: Een nieuwe olfactometer. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* 60 (1917) 547-550
- 36 DIBBITS, H.C.: *Feestbundel Donder's Jubileum* 1888, 497
- 37 DISHOECK, H.A.E. van and VERSTEEG, N.: On the problem of haematogenic olfaction. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) 47 (1957) 396-401
- 38 DISHOECK, H.A.E. van: Outline of practical olfactometry. *Internat. Rhinol. Vol. III, No. 1* (Jan. 1965) 111-116
- 39 DRASTICH, L.: Neues Prinzip des Odorimeters. *Sborn. lek.* 43 (1941) 210-218 (Tschechisch)
- 40 DUCUING, L. et CALVET, J.: L'état actuel du problème de l'olfaction. *J. franc. oto-rhino-laryng.* 12 (1963) 385-501 Ref. (GÜTTICH) in *Zbl. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk.* 80 (1964) 292

- 41 DUSSIK, K.Th. und KAUDERS, O.: Untersuchungen zu einer neuen Methode der Geruchs- und Geschmacksprüfung. Wien. Klin. Wschr. 1933, 745-747
- 42 DYSON, G.M.: Scientific basis of odour. Chemistry and Indust. (Rev.) 57 (1938) 647-651
- 43 EATON, J.R., CHRISTIAN, J.E. and CAMPBELL, J.A.: Surface phenomena related to odor measurements. Ann. New York Acad. Sci. Vol. 58 (1954), Art. 2, 239-249
- 44 EDINGER, L.: Vorlesungen über den Bau der nervösen Zentralorgane des Menschen und der Tiere. Leipzig 1908 und 1911
- 45 EHRENBERG, R. und KALVELAGE, H.: Untersuchungen über Geruchsschwellen und ihre Beeinflussung durch Sulfate. Naturwiss. 38 (1951) 407-408
- 46 EHRENSVÄRD, G.: Über die Primärvorgänge der Chemo-rezeptorenbeeinflussung. Acta physiol. scand. (Stockh.) 3 (1942), Suppl. 9, 1-151
- 47 ELSBERG, Ch.A. and LEVY, J.: The sense of smell. I. A new and simple method of quantitative olfactometry. Bull. Neur. Inst. New York 4 (1935) 5-19
- 48 ELSBERG, Ch.A., LEVY, J. and BREWER, E.D.: The sense of smell. V. The relative importance of volume and pressure of the impulse for the sensation of smell and the nature of the olfactory process. Bull. Neur. Inst. New York 4 (1935) 264-269
- 49 ELSBERG, Ch.A., LEVY, J. and BREWER, E.D.: The sense of smell. VI. The trigeminal effects of odorous substances. Bull. Neur. Inst. New York 4 (1935) 270-285
- 50 ELSBERG, Ch.A.: The sense of smell. VIII. Olfactory fatigue. Bull. Neur. Inst. New York 4 (1935) 479-495
- 51 ELSBERG, Ch.A.: The sense of smell. IX. A) Monorhinal, birhinal and bisynchronrhinal smell. The summation of impulses in birhinal smell. B) Some facts regarding the psycho-physiologie of the olfactory sense. Bull. Neur. Inst. New York 4 (1935) 496-500
- 52 ELSBERG, Ch.A.: The sense of smell. XIII. The summation of olfactory impulses from the two olfactory membranes and its physiological significance. Bull. Neur. Inst. New York 4 (1936) 544-555

- 53 ELSBERG, Ch.A.: Blast injection test. Arch. Neurol. Psychiatr. 37 (1937) 223-236
- 54 EPSTEIN, J.B.: Ein Apparat zur genauen Bestimmung des Riechvermögens. Vestn. Otol. i.t.d. 4(1938) 456-457 (Russisch)
- 55 FICK, A.: Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane. Lehr 1864
- 56 FISCHER, E. und PENZOLDT, F.: Geruchsmessung. Liebigs Ann. d. Chem. 239 (1887) 131 und Biol. Zbl. 9 (1888) 61
- 57 FLETCHER, H. and MUNSON, W.A.: Loudness, its definition, measurement and calculation. J.Acoust. Soc. Amer. 5 (1933) 82-108
- 58 FORTUNATO, V. e NICCOLINI, P.: Un pratico olfattometro basato sulla bottiglia di Elsberg. Moderni metodi di olfattometria. Clin. otorinolaringoiatr. 1 (1949) 33-51
- 59 FORTUNATO, V. e NICCOLINI, P.: L'olfatto Edit. Istituto Farmaco terapeutico Italiano Roma 1958 (Collana scientifica).
- 60 FORTUNATO, V. e NICCOLINI, P.: Olfatto e sue correlazioni. Soc. ital. lar. otol. rin. Atti del XLVI. Congresso 1958 Tipograf. de le ' Università, Catania.
- 61 FOSTER, D., SCOFIELD, E.H. and DALLENBACH, K.M.: Amer. J. Psychol. 63 (1950) 431
- 62 FRÖHLICH, R.: Über einige Modifikationen des Geruchsinnes. Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., math.-naturw. Kl. 6 (1851) 322
- 63 GAMBLE, E.A.Mc.: The applicability of Weber's Law to smell. Amer. J. Psychol. 10 (1898) 82-142
- 64 GARBINI, A.: Interno al minimum percettibile di odore. Mem. ac. d'agric., arti e commercio 68 (Verona 1892) 85
- 65 GARBINI, A.: Evoluzione del senso olfattivo nella infanzia Firenze 1897
- 66 GHIRLANDA, M.: Comportamento della funzione olfattoria nei malattia reumatoide trattati o non con cortisonici. Valsalva 35 (1959) 204-210
- 67 GOETZL, F.R., MARTIN, S.A. and AHOKAS, A.J.: Occurrence in normal individuals of diurnal variations in olfactory acuity. J. appl. Physiol. 2 (1950) 553-562

- 68 GOETZL, F.R., AHOKAS, A.J. and GOLDSCHMIDT, M.:  
Influence of sucrose in various concentrations  
upon olfactory acuity and sensations associa-  
ted with food intake. J. appl. Physiol. 4(1951)  
30-36
- 69 GRAZZI, V.: Sulla Fisiopatologia dei nervi olfatti-  
vi. 4. Congr. ital. d. oto-laryng. Roma 1899
- 70 GRIESSBACH, H.: Vergleichende Untersuchungen über  
die Sinnesschärfe Blinder und Sehender. Arch.  
f. d. ges. Physiol. 74 (1899) 755 und:  
75 (1899) 365-523
- 71 GRIJNS, G.: Messungen über die Riechschärfe bei  
Europäern und Javanen. Arch. Anat. u. Physiol.,  
Physiol. Abtg. 1906, 509-517
- 72 GROOS, K.: Die Spiele der Menschen. Jena 1899
- 73 GUERRIER, Y. et AZEMAR, R.: Olfactométrie. Un ap-  
pareil de mesure. J. franc. oto-rhino-laryng.  
12 (1963) 21-28
- 74 GÜTTICH, H.: Gustatorische Riechprüfung mit Riech-  
stoffen und Mischreizschmeckstoffen. Arch. Ohr.-,  
Nas.- und Kehlk.-Heilk. 178 (1961) 327-330
- 75 GÜTTICH, H.: Diskussionsbemerkung, veröffentlicht  
in: Tagungsbericht der 14. Tagung der Münchner  
Oto-laryngologischen Gesellschaft vom 7./8.12.  
1963
- 76 GÜTTICH, H.: Über die klinische Bedeutung der  
Riechprüfung. Mschr. Ohrenheilk. und Laryngo-  
Rhinol. 98 (1964) 49-53
- 77 GUNDLACH, R.H. and KENWAY, G.: A method for the  
determination of olfactory thresholds in humans.  
J. exper. Psychol. 24 (1939) 192-201
- 78 HAINER, R.M., EMSLIE, A.G. and JACOBSON, A.: An in-  
formation theory of olfaction. Ann. New York  
Acad. Sci. Vol. 58 (1954), Art. 2, 158-174
- 79 HAMBLOCH, H. und PÜSCHEL, J.: Zur Frage der Lokali-  
sation von Riechquellen. Z. Psychol. und Physiol.  
Sinnesorg., Abt. 2: 3. Sinnesphysiol. 59 (1928)  
151-155
- 80 HASAMA, B.: Über die elektrischen Begleiterschei-  
nungen an der Riechsphäre bei der Geruchsempfin-  
dung. Pflügers Arch. ges. Physiol. 234(1934)748
- 81 HENNING, H.: Der Geruch. Joh. Ambr. Barth, Leipzig.  
1. Aufl. 1916, 2. Aufl. 1924
- 82 HENRY, Ch.: Olfactomètre fondé sur la diffusion à  
travers les membranes flexibles. Compt. rend.  
Acad. Sciences (Paris), Febr. 1891

- 83 HENRY, Ch.: Les odeurs et leur mesure. Rev. scientif. 43 (1892) 65-76
- 84 HERMANIDES, J.: Über die Konstanten der in der Olfaktologie gebräuchlichen neun Standardgerüche. Inaug.-Diss. Utrecht 1909
- 85 HESSE, W.: Bestimmung von Geruchsschwellen in absoluten Werten. Z. Hals-, Nas.- und Ohrenheilk. 16 (1926) 359-373
- 86 HESSE, W.: Ein einfacher Apparat zur Bestimmung von Geruchsschwellen. Z. Hals-, Nas.- und Ohrenheilk. 19 (1927) 348-352
- 87 HESSE, W.: Zur Pathologie des Geruchssinnes. Z. ges. Innere Med. 5 (1950) 635-637
- 88 HOFMANN, F.B.: Der Geruchssinn beim Menschen. In: Handbuch der normalen und pathol. Physiol. Rezeptionsorgane I: 253-299 Springer, Berl. 1926
- 89 HOFMANN, F.B. und KOHLRAUSCH, A.: Bestimmung von Geruchsschwellen. Biochem. Zschr. 156 (1925) 287-294
- 90 HOLTHAUS, B.: Störungen des Geruchssinnes bei Epileptikern, zugleich ein Beitrag zur Frage der klinischen Geruchsprüfung. Arch. Psychiatr. 97 (1932) 238-248
- 91 HONGO, N.: Über die Wirkung von verschiedenen Nervengiften auf den Geruchssinn des Kaninchens. 38. Jahresvers. der Japanischen Otorhinolaryng. Gesellschaft, Tokyo 2.-3.4.1934. Sitzber. in Zbl. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk. 25 (1936) 352-363
- 92 HUYSMANS, J.K.: A rebours. Paris 1894. Deutsch: "Gegen den Strich". Kulturhistorische Liebhaberbibliothek 20, Rotbart, Leipzig o. J.
- 93 ICHIHARA, F.: On the senile Olfactory sense. J. otorhino-laryng. Soc. Jap. 66 (1963) 1146-1155
- 94 ICHIHARA, M., YOKOKAWA, R., MIYAO, T., KOMATSU, A., KAMIO, T., SHIRAKURA, K., TAKEUCHI, S., MURAMATSU, Y., SAKUMA, Y. a.o.: Studies on the sense of smell, third report. On venous, sense of smell. J. otorhino-laryng. Soc. Jap. 62 (1959) 955-958
- 95 ICHIHARA, M., MIYAO, T., KOMATSU, A., KAMIO, T., TAIRA, K., SHIRAKURA, K., SAKUMA, Y., ICHIHARA, F., ASAKA, H. a.o.: On the relation with pneumatization of parasinus and olfactory sense. J. otorhino-laryng. Soc. Jap. 65 (1962) 874-879

- 96 ISHIKAWA, A.: Hämatogene Geruchsempfindung und Behandlung von Geruchsstörungen. Z. Oto-rhinolaryng. (Tokyo) 44 (1938) dtsh. Zus.fassung
- 97 JANOWITZ, H. and GROSSMANN, M.J.: Gusto-olfactory thresholds in relation to appetite and hunger sensations. J. appl, Pysiol. 2 (1949) 217
- 98 JEROME, E.A.: Olfactory thresholds measured in terms of stimulus pressure and volume. Arch. Psychol. (New York) 39 (1942) 274
- 99 JONES, F.N.: A test of the validity of the Elsberg method of olfactometry. Amer. J. Psychol. 66 (1953) 81-85
- 100 JONES, F.N.: An olfactometer permitting stimulus specification in molar terms. Amer. J. Psychol. 67 (1954) 147-151
- 101 KAM, A.J.H.: Vergleichende Riechversuche mit Leuchtgas. Chem. Pharm. Abt. Laborat. d. öff. Ges.-Pflege (1933) 744-753
- 102 KANT, J.: Anthropologie in pragmatischer Hinsicht.
- 103 KEIDEL, W.D.: Vibrationsreception. Der Erschütterungssinn des Menschen. Erlanger Forschungen. Reihe B: Naturwissenschaften. Band 2. Universität Erlangen e.V. Erlangen 1956
- 104 KEIDEL, W.D.: Physiologie des Innenohres. In: Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten, hrsg. von BERENDES, J., LINK, R. und ZÖLLNER, F. Bd. III, 1 Thieme Verlag Stuttgart 1964
- 105 KINDLER, W.: Geruchsstörungen nach Schädelverletzung in medizinischer und sozialer Bedeutung. Med. Welt 1936: 150-153
- 106 KINDLER, W. und ULRICH, K.: Das Geruchsvermögen bei Laryngektomierten und Tracheotomierten. Arch.-Ohr.-, Nas.-, Kehlkopfheilk. u. Z. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk. 162 (1953) 512-519
- 107 KÖSTER, E.P.: Olfactory sensitivity and the menstrual cycle. Internat. Rhinol. Vol. III, No. 1 (Jan. 1965) 57-64
- 108 KOMURO, K.: Das Minimum perceptibile für den Geruch in einer völlig geruchlosen Umgebung (Camera inodora). Arch. néerl. de physiol. de l'homme et des anim. 6 (1921) 20-24
- 109 KOMURO, K.: L'olfactométrie dans l'air parfumé. Arch. néerl. de physiol. de l'homme et des anim. 6 (1922) 58-76

- 110 KRAUSE, F.: Die Neuralgie des Trigeminus. Leipzig, F.C.W. Vogel 1896
- 111 KUEHNER, R.L.: The validity of practical odor measurement methods. Ann. New York Acad. Sci. Vol. 58 (1954), Art. 2: 175-186
- 112 LE MAGNEN, J.: Étude d'une méthode d'analyse qualitative de l'olfaction. Année psychol. 43-44 (1942-43): 249-264
- 113 LE MAGNEN, J.: Un cas de sensibilité olfactive se présentant comme un caractère secondaire féminine. Compt. rend. Acad. Sci. (Paris) 226(1948) 694-695
- 114 LE MAGNEN, J.: Étude d'un phénomène de sensibilisation olfactive. Compt. rend. Acad. Sci. (Paris) 228 (1949) 122-124
- 115 LE MAGNEN, J.: Les phénomènes olfacto-sexuels chez l'homme. Arch. Sci. Physiol. VI (1952) 337-342
- 116 LINDENOV, H.: Untersuchungen über Geruchswahrnehmung nach intravenösen Injektionen. Hosp. tid. 1933: 734-739 (Dänisch)
- 117 LINDENOV, H.: Geruchsempfindung nach intravenösen Injektionen. Vortrag auf der Sitzung der Dänischen Oto-Laryngologischen Gesellschaft am 11.1.1933. Sitzber. in Zbl. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk. 23 (1934) 61
- 118 LÖHNER, L.: Über Geruchsprüfungen mit besonderer Rücksichtnahme auf echte und simulierte Anosmien. Mschr. Ohrenheilk. 74 (1940) 479-485
- 119 LUCRETIUS, Titus Carus: De rerum natura / Welt aus Atomen. Lateinisch und Deutsch, Artemis Verlag Zürich 1956
- 120 MAHNER, P.: Vergleichende psycho-physiologische Versuche über die Unterscheidungsfähigkeit im Gebiete des inneren und äusseren Tastsinnes, des Geschmacks- und Geruchssinnes an taubstummen, blinden, normalsinnigen, schwachsinnigen und taubstumm-blinden Kindern. Berner Diss., Wigand, Leipzig 1909
- 121 MARCO, J.: GIMENEZ, J.A. y MORERA, H.: La olfacción en los laringectomizados. Rev. espan. Otol. etc. y Neurocir. 13 (1954) 380-394
- 122 MARCO-CLEMENTE, J.: Los excitantes inadecuados de la olfacción y su mecanismo de percepción. Rev. espan. Otol. etc. y Neurocir. 10 (1951) 265-284, 343-360 und 418-448

- 123 MASUDA, S.: Über die olfaktometrische Untersuchung.  
Ohayama-Jgathai-Zashi 40 (1928) 197-204
- 124 MATTEI, DI: La sensibilità nei fanciulli in rapporto al sesso ed all'età. Arch. di Psichiatria.  
22 (1901) 207
- 125 MEGIGHIAN, D.: Variazioni della soglia olfattiva nell'età senile. Minerva otorino-laring.  
(Torino) 8 (1958) 331-337
- 126 MESNARD, E.: Appareil nouveau pour la mesure de l'intensité des parfums. Compt. rend. Acad. Sci.  
(Paris) 116 (1893) 1461 und: Rev. gén. de Botanique 6 (1894) 97
- 127 MESOLLELLA, V.: L'olfatto nelle diverse età. Studio clinico-istologico. Arch. ital. Otol. IV s. 46  
(1934) 43-62
- 128 MITSUMOTO, T.: Olfactometrische Untersuchungen.  
Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg., Abt. 2 :  
Z. Sinnesphysiol. 57 (1926) 144-165
- 129 MOLDENHAUER, W.: Über die einfache Reaktionsdauer einer Geruchsempfindung. Wundt's Phil. Stud. 1  
(1883) 606-614
- 130 MONCRIEFF, R.W.: The chemical senses. Wiley.  
New York 1946
- 131 MONCRIEFF, R.W.: The odorants. Ann. New York Acad. Sci. Vol. 58 (1954) Art. 2, 73-82
- 132 MONCRIEFF, R.W.: The characterization of odours.  
J. of Physiol. 125 (1954) 453-465
- 133 MONCRIEFF, R.W.: The sorptive properties of the olfactory membrane. J. of Physiol. 130 (1955)  
543-558
- 134 MONCRIEFF, R.W.: Adaptation in sense of smell and similarity of odors. J. of Physiol. 133 (1956)  
301-316
- 135 MONCRIEFF, R.W.: Alteration of odor threshold concentration in relation to positive responses.  
J. of Physiol. 139 (1958) 10-14
- 136 MORIMURA, S.: Untersuchungen über den Geruchssinn.  
Tohoku J. exper. Med. 22 (1934) 417-448
- 137 MOZELL, M.M. and PFAFFMANN, C.: The afferent neural processes in odor reception. Ann. New York Acad. Sci. Vol. 58 (1954) Art. 2, 96-108
- 138 MÜLLER, A.: Quantitative Untersuchungen am Riechepithel des Hundes. Zschr. Zellforschg. 41 (1955)  
335-350

- 139 MULLINS, L.J.: Olfaction. Ann. New York Acad. Sci. 62 (1956) 249-276
- 140 MYERS, Ch.S.: Reports of the Cambridge Anthropological Expedition to Torres Straits 2 (2), Cambridge 1903
- 141 NADOLECZNY, M.: Über Geruchsstörungen. Münch. Med. Wschr. 1933, 1676-1679
- 142 NEUHAUS, W.: Über die Riechschärfe des Hundes für Fettsäuren. Zschr. vergl. Physiol. 35 (1953) 527-552
- 143 NEUHAUS, W.: Die Riechschwellen des Hundes für Jonon und Äthylmercaptan und ihr Verhältnis zu anderen Riechschwellen bei Mensch und Hund. Zschr. Naturforschg. 96 (1954) 560-567
- 144 NEUHAUS, W. und MÜLLER, A.: Das Verhältnis der Riechzellenzahl zur Riechschwelle beim Hund. Naturwiss. 41 (1954) 237
- 145 NEUHAUS, W.: Die Unterscheidung von Duftquantitäten bei Mensch und Hund nach Versuchen mit Buttersäure. Zschr. vergl. Physiol. 37 (1955) 234-252
- 146 NEUHAUS, W.: Die Riechschwelle von Duftgemischen beim Hund und ihr Verhältnis zu den Schwellen unvermischter Duftstoffe. Zschr. vergl. Physiol. 38 (1956) 238-258
- 147 NEUHAUS, W.: Wahrnehmungsschwelle und Erkennungsschwelle beim Riechen des Hundes im Vergleich zu den Riechwahrnehmungen des Hundes. Zschr. vergl. Physiol. 39 (1957) 624-633
- 148 NEUHAUS, W.: Die Veränderung der Riechschärfe des Hundes durch orale Duftstoffgaben. Zschr. vergl. Physiol. 41 (1958) 221-241
- 149 NIQUE, F.: Contribution à l'étude des anosmies. Thèse. Lyon 1897
- 150 OHMA, S.: La classification des odeurs aromatiques en sous danes. Arch. néerl. de physiol. de l'homme et des anim. 6 (1922) 567
- 151 OTTOLENGHI, S.: L'olfatto della donna. Riv. d. Psicol., Psichiatri. e Neuropath. 2 (1898) 122-125
- 152 OTTOSON, D.: Analyse der elektrischen Aktivität des Riechepithels. Acta Physiol. Scand. (Stockh.) 35 (1956), Suppl. 122, 1-83
- 153 OUCHAKOFF, A.-A.: Essais d'application pratique concernant la relation entre l'oderat et l'absorption des substances odorantes. Rev. de Laryng. etc. 51 (1930) 77-91

- 154 PALLESTRINI, E.: Nuovi orientamenti fisio-elettrici in olfattometria. Minerva otorinolaringol. (Torino) 1 (1951) 119-135
- 155 PASSY, L.: Cpt. rend. hebdom. des séances des l'acad. des sciences (Paris) 114 (1892), 115 (1892), 116 (1903)
- 156 PASSY, L.: Sur les minimums perceptibles de quelques odeurs. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 114 (1892) 306, 786, 1140
- 157 PASSY, L.: Revue générale sur les sensations olfactives. Année psychol. 2 (1896) 363-410
- 158 PATTY, F.A.: Industrial Hygiene and Toxicology. Interscience, New York, 1949
- 159 PHLEPS, H.: Zusammenstellung eines neuen Riechbestecks. HNO (Berl.) 8 (1960) 369-371
- 160 PROETZ, A.W.: A system of exact olfactometry. Ann. of otol., rhinol. and laryngol. 33 (1924) 746-763
- 161 PROETZ, A.W.: Problems of olfactometry. Arch. otolaryngol. 2 (1925) 192
- 162 PROETZ, A.W.: Olfactory function, diagnosis and treatment. Ann. of otol., rhinol. and laryngol. 41 (1932) 125
- 163 PROETZ, A.W.: Applied physiology of the nose. Annals Publishing Company, St. Louis, 1953  
und: Air currents in the upper respiratory tract and their clinical importance. Ann. of otol. 60 (1951) 439-467
- 164 RAMSAY, W.: On Smell. Nature 26 (1882) 187
- 165 RANKE, O.F. und LULLIES, H.: Gehör, Stimme, Sprache. Springer. Berlin 1953
- 166 RANKE, O.F.: Reiz und Erregung beim Hören. Vortrag: Audiometr. Kurs, HNO-Klinik Würzburg 1957
- 167 RENNES, P.: Une méthode nouvelle d'olfactométrie. Année psychol. 41-42 (1940-1941) 243-247
- 168 RIVERS, W.H.R.: Observations on the sense of the Tods. Brit. J. of Psychol. 1 (1905) 321-397
- 169 ROLLETT, A.: Beitrag zur Physiologie des Geruchs und Geschmacks, der Hautsinne und der Sinne im allgemeinen. Pflügers Arch. ges. Physiol. 74 (1899) 383
- 170 SACH, : Ein Beitrag zur hämatogenen Olfactometrie. HNO-Wegweiser 6 (1958) 320

- 171 SALIS, B.: Rilievi sulla soglia olfattiva in gravidanza. *Minerva otorino-laring.* (Torino) 9 (1959) 149-150
- 172 SAVELIEFF, N.: Untersuchungen des Geruchssinnes zu klinischen Zwecken. *Neurol. Zbl.* 10 (1893) 340-345
- 173 SCHNEIDER, R.A. and WOLF, S.: Olfactory perception thresholds for Citral utilizing a new type of Olfactorium. *J. appl. Physiol.* 8 (1955) 337-342
- 174 SCHOPENHAUER, A.: *Die Welt als Wille und Vorstellung.*
- 175 SCHULTZ, J.H.: *Das autogene Training.* Thieme, Stuttgart 10. Aufl. 1960
- 176 SEMERIA, C.: La sensazione olfattiva ematogena. *Arch. ital. Otol.* 68 (1957), Suppl. 30, 1-78
- 177 SKRAMLIK, E.von: Die physiologische Charakteristik von riechenden Stoffen. *Naturw.* 12 (1924) 813-824 und *Zschr. Sinnesphysiol.* 56 (1924) 69
- 178 SKRAMLIK, E.von: Eine Vorrichtung zur Prüfung der Leistungen des Geruchssinnes. *Münch. Med. Wschr.* 1936, 1564-1567
- 179 SKRAMLIK, E.von: Verfahren zur Prüfung der Leistungen des Geruchssinnes. In: *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, hrsg. v. E. ABDERHALDEN, Abt. V, Teil 7 (2. Hälfte). Urban u. Schwarzenberg, Berlin/Wien 1937
- 180 STERNBERG, W.: Kompendiöser quantitativer Olfaktometer zu klinischen Zwecken. *Dtsch. Med. Wschr.* 38 (1909)
- 181 STEVENS, S.S.: The measurement of sensation. Periodic status report XXII Harvard University Psycho-acoustic Laboratory, Nov. 1953
- 182 STUIVER, M.: *Biophysics of the sense of smell.* Inaug.-Diss., Groningen 1958
- 183 STUIVER, M.: An olfactometer with a wide range of possibilities. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) 51 (1960) 135-142
- 184 SUMMER, W.: *Odor research in Europe. A report.* Ann. New York Acad. Sci. Vol. 116 (1964), Art. 2: 361-368
- 185 TANYOLAÇ, N.N.: *Study of odors.* Ph.D. Thesis, Purdue University 1949
- 186 TANYOLAÇ, N.N. and EATON, J.R.: *Study of odors.* J. Amer. Pharm. Assoc. Sci. Ed. 39 (1950) 565-574
- 187 TANYOLAÇ, N.N.: Electro-odocell for odor measurement. *Int. Rhinol.* Vol. III, No.1 (Jan.1965) 129-134

- 188 TEATINI, G.P. y PINCINI, G.: Estimulación olfatoria por via hematica. Acta oto-rino-laring. ib. - amer. 12 (1961) 417-431
- 189 TEUFER, J.: Die klinische Untersuchung des Riechvermögens. Tagungsber. über die V. Jahresvers. der Gesellschaft dtsh. HNO-Ärzte, München 28.-30.5.1925 In Zbl. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk. 7 (1925) 676
- 190 THEISSING, G. und THEISSING, J.: Beitrag zur Frage der objektiven Hörprüfung mittels EEG. Z. Laryng. Rhinol. 43 (1964) 729-734
- 191 THOMPSON, H.B.: Vergleichende Psychologie der Geschlechter. Würzburg 1905
- 192 TOULOUSE, E. et VASCHIDE, M.: Mesure de l'oderat chez l'homme et chez la femme. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 11 (14.5.1899) 381
- 193 TOULOUSE, E. et VASCHIDE, M.: Mesure de l'oderat chez les enfants. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 11 (10.6.1899) 487
- 194 TOULOUSE, E. und VASCHIDE, M.: Note sur un nouveau moyen de vérifier la loi de Weber-Fechner sur la rapport de la sensation à l'excitation et sur la vérification de cette loi par le mesure de l'oderat, au moyen de solutions décimales. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 51 (1899) 640-642
- 195 TOULOUSE, E. et VASCHIDE, M.: L'asymétrie sensorielle olfactive. Rev. phil. 49 (1900) 176-186
- 196 TURK, A.: Odorous atmospheric gases and vapors: properties, collection, and analysis. Ann. New York Acad. Sci. Vol. 58 (1954), Art. 2:193-214
- 197 VALENTIN, G.: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 2. Aufl., Braunschweig 1847
- 198 VASCHIDE, N.: Recherches expérimentales sur la fatigue olfactive. J. de l'Anatomie et de la Physiol. 38 (1902) 85-103
- 199 VINTSCHGAU, M.von: Physiologie des Geruchssinnes. In: Nagels Handbuch der Physiologie Bd. III (1904) 589 ff.
- 200 WEISS, W.: Simulationsproben bei Prüfungen des Riechvermögens. HNO (Berlin) 8 (1960) 167-168
- 201 WENZEL, B.M.: Techniques in olfactometry. A critical review of the last hundred years. Psychol. Bull. (Washington) 45 (1948) 231-247

- 202 WENZEL, B.M.: Differential sensitivity in olfaction. J. exper. Psychol. 39 (1949) 129-143
- 203 WENZEL, B.M.: Problems of odor research from the viewpoint of a psychologist. Ann. New York Acad. Sci. Vol. 58 (1954), Art. 2: 58-61
- 204 WENZEL, B.M.: Olfactometric method utilizing natural breathing in an "odor-free environment". Science 102 (1955) 802-803
- 205 WIRTH, W.: Untersuchungen über Reizschwellenwerte von Geruchsstoffen bei Insekten. Biol. Zbl. 48 (1928) 567-576
- 206 WIT, G.de, KAPTEYN, T.S. and BOCHOVE, W.M.van: Some remarks on the physiology, the anatomy and radiology of the vestibulum and the isthmus nasi. Int. Rhinol. Vol. III, Nr.1 (Jan.1965) 37-42
- 207 WOERDEMAN, H.: L'influence de la température d'un gaz odorant sur la sensation olfactive. Arch. néerl. Physiol. 19 (1934) 88-93
- 208 WOODROW, H. and KARPMAN, B.: A new olfactometric technique and some results. J. exper. Psychol. 2 (1917) 431-447
- 209 ZIGLER, M.J. and HOLWAY, A.H.: Differential sensitivity as determined by amount of olfactory substance. J. gen. Psychol. 12 (1935) 372-382
- 210 ZILSTORFF-PEDERSEN, K.: Olfactory threshold determinations in relation to food intake. Acta otolaryngol. (Stockh.) 45 (1955) 86-90
- 211 ZILSTORFF-PEDERSEN, K.: Determinations and variations of olfactory thresholds. Arch. Otolaryng. (Chicago) 79 (1964) 412-417
- 212 ZWAARDEMAKER, H.: Die Physiologie des Geruchs. Engelmann, Leipzig 1895
- 213 ZWAARDEMAKER, H.: Geruch. Ergebn. Physiol. 1 (2) (1902) 901
- 214 ZWAARDEMAKER, H.: Geruch und Geschmack. In: Handbuch der physiologischen Methodik, hrsg. von TIGERSTEDT, Bd. 3, Teil 1: 26 Leipzig 1910-1914
- 215 ZWAARDEMAKER, H.: Camera inodorata. Parfum. Essent. Oil Record 12 (1921) 243
- 216 ZWAARDEMAKER, H.: Prüfung des Geruchssinnes und der Gerüche. In: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, hrsg. von E. ABDERHALDEN, Abt. 5, Teil 7: 455. Urban und Schwarzenberg. Berlin / Wien 1923

- 217 ZWAARDEMAKER, H.: Physiologie der Nase und ihrer Nebenhöhlen. In: Handbuch der HNO-Heilkunde, hrsg. von DENKER und KÄHLER, Bd. I: 439-484. Springer. Berlin 1925
- 218 ZWAARDEMAKER, H.: L'Oderat. Paris 1925

Von Herrn Dr.med. G.Kittel, Oberarzt an der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Erlangen, erhielt ich die Anregung zur Bearbeitung des apparativen Geruchsmessungsproblems. Durch die Überlassung seiner Literaturzusammenstellung mit fördernden Hinweisen hat er mir die Orientierung in dem umfangreichen Gebiet und dadurch die Anfertigung der Arbeit erleichtert.

## LEBENS LAUF

In Ludwigsburg wurde ich am 14. Juli 1930 als drittes von vier Kindern des Schreinermeisters Friedrich Endress und dessen Ehefrau Frida, geb. Früh, geboren. In Ludwigsburg erlebte ich meine Kindheits- und Jugendzeit - dort besuchte ich von 1937 - 1941 die Volksschule und von 1941 - 1950 die Mörike-Oberschule für Jungen.

Nach am 5. Juni 1950 bestandener Reifeprüfung studierte ich zunächst Mathematik und Physik: Ab Wintersemester 1950/51 an der Technischen Hochschule Stuttgart, ab Wintersemester 1952/53 an der Universität Tübingen.

Nach insgesamt sechs Semestern naturwissenschaftlichen Studiums begann ich - spät noch meiner eigentlichen Neigung folgend - 1953 mit dem Studium der Medizin. Am 16. Juli 1959 bestand ich das Medizinische Staatsexamen an der Universität Tübingen.

Die Medizinalassistentenzeit absolvierte ich am Städtischen Krankenhaus Gross-Umstadt, am Hüttenkrankenhaus Völklingen/Saar und den Kreiskrankenhäusern Maulbronn, Vaihingen/Enz und Mühlacker.

Nach der mir am 31. Mai 1962 erteilten Approbation als Arzt war ich als Assistenzarzt auf der Inneren Abteilung des Kreiskrankenhauses Mühlacker und auf der Inneren Abteilung des Städtischen Krankenhauses Pforzheim angestellt.

Seit 1. September 1964 bin ich als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle an der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Erlangen-Nürnberg in Erlangen tätig.





Buchdruck und Fotodruck: Ludwig Müller, Erlangen, Fahrstraße 5